



---

**SKRIPSI - ME14 1501**

**PERANCANGAN BOW THRUSTER UNTUK  
TUNNEL PANJANG DAN HASIL SIMULASI  
MANEUVER DALAM BENTUK PETA SEAKEEPING**

**Basuki Rahmad  
NRP. 4212 105 010**

**Dosen Pembimbing  
Ir. Agoes Santoso, M.Sc., M.Phil.  
Ir. Amiadji, M.M., M.Sc.**

**Jurusan Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015**



---

**FINAL PROJECT - ME14 1501**

**DESIGNING OF BOW THRUSTER FOR  
LONGER TUNNEL & THE SIMULATION OF  
MANEUVER IN SEAKEEPING**

**Basuki Rahmad  
NRP. 4212 105 010**

**Lecturer  
Ir. Agoes Santoso, M.Sc., M.Phil.  
Ir. Amiadji, M.M., M.Sc.,**

**Department of Marine Engineering  
Faculty of Ocean Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2015**

## LEMBAR PENGESAHAN

### PERANCANGAN BOW THRUSTER UNTUK TUNNEL PANJANG DAN HASIL SIMULASI MANEUVER DALAM BENTUK PETA SEAKEEPING

#### SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada

Bidang Studi Marine Manufacturing and Design (MMD)  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**BASUKI RAHMAD**  
**NRP. 4212 105 010**

Disetujui oleh Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan :

1. Dr. Ir. A.A Masroeri, M.Eng. (



**SURABAYA**

**Januari 2015**

## LEMBAR PENGESAHAN

# PERANCANGAN BOW THRUSTER UNTUK TUNNEL PANJANG DAN HASIL SIMULASI MANEUVER DALAM BENTUK PETA SEAKEEPING

### SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Marine Manufacture and Design (MMD)  
Program S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**BASUKI RAHMAD**  
NRP. 4212 105 010

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Ir. Agoes Santosa, M.Sc.M.Phil

(  )

2. Ir. Amiadji M.M, M.Sc.

(  )

**SURABAYA**  
**Januari 2015**

# **PERANCANGAN BOW THRUSTER UNTUK TUNNEL PANJANG DAN HASIL SIMULASI MANEUVER DALAM BENTUK PETA SEAKEEPING**

**Nama Mahasiswa : Basuki Rahmad**  
**NRP : 4212 105 010**  
**Dosen Pembimbing 1 : Ir. Agoes Santosa**  
**Dosen Pembimbing 2 : Ir. Amiadji**

## **ABSTRAK**

Untuk meningkatkan kemampuan maneuver kapal, peralatan khusus telah didesain untuk memberikan *side thrust* 360<sup>0</sup> derajat. Kemampuan ini memungkinkan kapal untuk lebih independent dari *Tug Boat* saat memasuki pelabuhan atau dalam proses maneuver. Tipe paling umum adalah Tunnel Thruster atau Bow thruster, yaitu perangkat propulsi terdiri dari baling-baling dipasang di sebuah terowongan pada posisi melintang kapal dan tersedia dengan beberapa tambahan penggerak seperti motor listrik atau hidrolik. Tujuan dari skripsi ini adalah untuk mengkaji gaya dorong yang dihasilkan Bow Thruster akibat perubahan panjang selubung (tunnel) dan kemampuan akselerasi kapal pada saat maneuver akibat perubahan letak posisi pemasangan Bow thruster tersebut yang menyebabkan perubahan panjang selubung (tunnel). Dari hasil simulasi didapatkan bahwa gaya dorong yang dihasilkan bow thruster berbanding terbalik dengan panjang selubung (tunnel). Perubahan panjang selubung (tunnel) menyebabkan akselerasi kapal pada saat melakukan proses maneuver semakin tinggi. Hal ini ditunjukkan dengan radius yang ditempuh pada saat proses maneuver menjadi semakin lebih kecil.

Kata Kunci: Bow thruster, Tunnel, Maneuver

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

# DESIGNING BOW THRUSTER FOR LONGER TUNNEL AND SIMULATION OF MANEUVER IN SEAKEPING

**Name of Student** : Basuki Rahmad  
**NRP** : 4212 105 010  
**1<sup>st</sup> Lecturer** : Ir. Agoes Santosa  
**2<sup>nd</sup> Lecturer** : Ir. Amiadji

## ABSTRACT

To improve the ability of the ship's maneuvering, specialized equipment has been designed to provide *side thrust* 360<sup>0</sup> degrees. This capability enables the ship to be independent of the tug when entering the port or in the maneuvering. The most common type which is used is a Tunnel Thruster or Bow thruster, a propulsion device which consists of a propeller mounted in a tunnel on the transverse position of ship and is available with some additional drive such as an electric motor or hydraulic. The purpose of this paper is to examine the thrust which is generated by Bow Thruster due to the length of tunnel and acceleration of the ship's maneuvering capability due to the length of tunnel. The simulation showed that the thrust of bow thruster is inversely proportional to the length of the tunnel. The length of tunnel's changing causes acceleration vessel capability during the initial maneuver higher. This is indicated by the radius covered during the maneuver becomes smaller.

Keywords: Bow thruster, Tunnel, Maneuver

“Halaman Sengaja Dikosongkan”



## KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Tuhan semesta alam, yang senantiasa melimpahkan rahmat-Nya bagi penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “*Perancangan Bow Thruster Untuk Tunnel Panjang dan Hasil Simulasi Maneuver Dalam Bentuk Peta Seakeeping*” sebagai side thruster pada kapal AHTS 56 meter. Tugas akhir ini merupakan bagian dari persyaratan untuk menyelesaikan studi jenjang strata 1 (S1) pada jurusan Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dengan selesainya tugas akhir ini, penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Orang tua saya, Marimin dan Mujiati. Karena dukungan moril dan materiil serta doa merekalah saya bisa melanjutkan kuliah dan menyelesaikan jenjang S1 ini dengan lancar.
2. Bapak Ir. Agoes Santoso dan Bapak Ir. Amiadji selaku Dosen Pembimbing yang selalu membantu dan menuntun dalam proses penyelesaian Tugas Akhir ini. Terima kasih atas bimbingan Bapak dan segala bentuk motivasi yang telah diberikan.
3. Seluruh Saudara dan kerabat terutama Kakak-kakak & Adik-adik saya yang telah memberi support selama masa penyelesaian studi S1 ini.
4. Teman-teman seperjuangan Mahasiswa LJ '12, Anggota & Pengurus Laboratorium MMD, serta Teman-teman Mahasiswa JTSP '11 yang tidak bisa saya sebutkan satu per satu.

Penulis,

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

## DAFTAR ISI

COVER INDONESIA	i
COVER ENGLISH	iii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	v
LEMBAR PENGESAHAN KETUA JURUSAN	vii
KATA PENGANTAR	ix
ABSTRAK INDONESIA	xi
ABSTRAK ENGLISH	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar belakang	1
1.2 Perumusan masalah	2
1.3 Tujuan skripsi	3
1.4 Batasan masalah	3
1.5 Manfaat	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Pengertian Thruster	5
2.2 Jenis-jenis Thruster	6
a. Tunnel Thruster	6
b. Jet Thruster	7
c. Trainable Thruster	7
2.3 Gambaran Umum Bow Thruster	7
2.4 Pemilihan Gaya Dorong Bow Thruster	11
2.5 Dasar-dasar CFD	14
a. Pengertian CFD	14
b. Penggunaan CFD	15

c. Manfaat CFD	15
d. Proses Simulasi	16
e. Macam-macam Perangkat Lunak CFD	17
2.6 Maneuver	17
a. Gaya Dorong Rudder	17
b. Resultan Gaya Dorong Rudder & Bow Thruster	19
c. Dasar Maneuver Kapal	20
d. Menghitung Circle Turning Diameter	23
2.7 Static Trim	26
BAB III METODOLOGI	
3.1 Deskripsi Flow Chart	29
3.2 Flow Chart	32
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN	
4.1 Data Utama Kapal	33
4.1.1 Perhitungan $C_b$ , $C_p$ , $C_m$	33
4.1.2 Perhitungan Displacement	33
4.2 Perhitungan Bow Thruster	34
4.2.1 Gaya Dorong Bw Thruster	34
4.2.2 Pemilihan Spek Bow Thruster	36
4.3 Perencanaan Perubahan Panjang Selubung	37
4.3.1 Kondisi Awal	37
4.3.2 Kondisi Akhir	38
4.4 Simulasi Pada CFD	38
4.4.1 Pemodelan Daun Propeller	38
4.4.2 Pemodelan Bow Thruster	39
4.4.3 Proses Solver Pada CFD	40
4.5 Simulasi Maneuver Dalam Bentuk Seakeeping	42
4.5.1 Maneuver Kapal Dengan Rudder	42
4.5.2 Maneuver Kapal Dengan Rudder & Bow Thruster	45

a. Gaya Dorong Pada Rudder	46
b. Force on Bow Thruster	47
c. Resultan Torque Rudder & Bow Thruster	47
d. Total Gaya Dorong	47
e. Perhitungan Maksimum Trim	49
f. Perhitungan Circle Turning Diameter	50
4.5.3 Maneuver Kapal	54
 BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	61
5.2 Saran	62
 DAFTAR PUSTAKA	63
BIOGRAFI	
LAMPIRAN	

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

## **DAFTAR TABEL**

Tabel 2.1 : Perbandingan Nilai D, I & S	12
Tabel 2.2 : Limitation of Empirical for Prediction of Turning Circle	24
Tabel 4.1 : Data Utama Kapal	33
Tabel 4.2 : Pembacaan Diagram NSP	33
Tabel 4.3 : Dimensi Bow Thruster	37
Tabel 4.4 : Data Input Solver CFD	40
Tabel 4.5 : Data Output Solver CFD	41
Tabel 4.6 : Perbandingan Nilai Span & Mean Chord	49
Tabel 4.7 : Resume Output Circle Turning Diameter	52
Tabel 4.8 : Resume Output Perhitungan Circle Turning Diameter	59

“Halaman Sengaja Dikosongkan”



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 : Tipikal posisi tunnel thruster	9
Gambar 2.2 : Typical tunnel thruster placement	9
Gambar 2.3 : Rencana penutup thruster	10
Gambar 2.4 : Bentuk closure bow thruster	10
Gambar 2.5 : Posisi Tunnel	12
Gambar 2.6 : Band Rotation VS Displacement	13
Gambar 2.7 : Pivot Point & Rotation	14
Gambar 2.8 : Rudder Force	18
Gambar 2.9 : Rudder Force	19
Gambar 2.10 : Resultan Force	20
Gambar 2.11 : Dasar Maneuver Kapal	21
Gambar 2.12 : Dasar Maneuwr Kapal	22
Gambar 2.13 : Definisi Rudder & Bow Profile	25
Gambar 2.14 : Type Stern Profile	26
Gambar 2.15 : Kapal Dalam Trim	27
Gambar 2.16 : Kapal Dalam Oleng	27
Gambar 2.16 : Kapal Dalam Stabil	28
Gambar 3.1 : Diagram alur pengerjaan skripsi	32
Gambar 4.1 : Posisi Awal Bow Thruster	34
Gambar 4.2 : Band of Rotation Rate versus Displaement	35
Gambar 4.3 : Pivot Point & Rotation Rate	36
Gambar 4.4 : Kondisi Awal	37
Gambar 4.5 : Kondisi Akhir	38
Gambar 4.6 : Pitch Ratio & Area Ratio Propeller	39
Gambar 4.7 : Pemodelan Daun Propeller	39
Gambar 4.8 : Pemodelan Bow Thruster	40
Gambar 4.9: Solver CFD	41
Gambar 4.10: Gaya Dorong Rudder	42

Gambar.4.11: Resultan Gaya Dorong Kapal	46
Gambar 4.12 : Dasar Maneuver Kapal	54
Gambar 4.13 : Circle Diameter Simulasi I	57
Gambar 4.14 : Circle Diameter Simulasi II	57
Gambar 4.15 : Circle Diameter Simulasi III	58
Gambar 4.16 : Circle Diameter Simulasi IV	58
Gambar 4.17 : Circle Diameter Simulasi V	59

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Saat ini industri kapal Indonesia mulai diperhitungkan di kawasan ASEAN. Kemudian sejak pemberlakuan peraturan baru keamanan pelayaran Safety of Life at Sea (Solas), pangsa pasar kapal dunia menjadi kian besar. Saat ini industri kapal Indonesia mulai diperhitungkan di kawasan ASEAN. Kemudian sejak pemberlakuan peraturan baru keamanan pelayaran Safety of Life at Sea (Solas), pangsa pasar kapal dunia menjadi kian besar. [1]

Kementerian Perindustrian (Kemenperin) telah menyiapkan peta jalan (road map) pembangunan industri perkapalan di Indonesia tahun 2012-2025. Industri ini pun diharapkan bisa memproduksi dan mereparasi semua jenis kapal dari yang berukuran kecil hingga besar. Investasi perkapalan akan terus bertambah, terutama karena semakin banyaknya permintaan di sektor offshore (lepas pantai). Apalagi, 70% kegiatan migas kita itu ada di laut," [2]

Kegiatan utama industri bangunan lepas pantai adalah fabrikasi dalam mendukung sektor migas di Indonesia dan pengembangan industri bangunan lepas pantai juga adalah dalam rangka meningkatkan kemampuan industri maritim nasional. Direktur Industri Maritim Kedirgantaraan dan Alat Pertahanan (IMKAP) Kemenperin, Hasbi Assidiq Syamsudin dalam obrolan dengan Industri Maritim mengatakan bahwa kenaikan harga minyak dunia juga telah mendorong pertumbuhan industri bangunan lepas pantai. "Industri bangunan lepas pantai harus terus kita kembangkan karena sangat berkaitan erat dengan industri perkapalan. Karena itu

kemampuan industri bangunan lepas pantai harus terus dimaksimalkan." [3]

kapal jenis AHTS adalah sebuah kapal yang bekerja untuk menangani pemasangan jangkar untuk buoy ataupun untuk mengangkat jangkar dan juga untuk inspeksi rantai sampai pada jangkar yang di dalam laut, untuk itu diperlukan stabilitas yg baik yaitu badan kapal dengan draft yang agak tanggelam sehingga roller yang dibelakang kapal menyentuh air guna pengambilan cacther buoy oleh crew kapal dengan mudah dan penarikan buy atau mereleasenya tidak menyangkut di badan kapal. Anchor Handling Tug Supply Vessels (AHTS) kapal yang sangat kuat yang menyebarkan, memulihkan, dan mengubah pola tambatan sub-laut. Kapal ini biasanya terlihat bekerja dengan instalasi lepas pantai. Salah satu atau armada jangkar penangan (AHTS) bekerja sama dengan satu sama lain dan bekerja sebagai satu unit.

Selama pengoperasian dari Anchor Handling instalasi lepas pantai seperti unit Drilling atau bahkan Semi-Submersible Rig. [4]

## 1.2. Perumusan Masalah

Dari latar belakang diatas maka diambil rumusan masalah sebagai berikut.

- a) Bagaimanakah *Thrust* yang dihasilkan pada Bow Thruster akibat perubahan panjang selubung karena perubahan letak & titik pemasangan Bow Thruster.
- b) Bagaimanakah pengaruh *Thrust* yang dihasilkan tersebut terhadap akselerasi kapal pada saat proses maneuver.

### 1.3. Tujuan Skripsi

Tujuan dari skripsi ini adalah:

- a) Untuk mengetahui pengaruh panjang tunnel dengan *Thrust* yang dihasilkan oleh Bow Thruster.
- b) Untuk mengkaji efektivitas penggunaan Bow Thruster dengan kemampuan maneuvering kapal.

### 1.4 Batasan Masalah

Pada skripsi ini batasan masalah adalah sebagai berikut:

- a) Objek yang dianalisa hanya pada Offshore Supply Vessel 56 meter
- b) Hanya membahas *Thrust* yang dihasilkan Bow Thruster akibat perubahan panjang tunnel tidak sampai membahas perhitungan kekuatan konstruksi dan stabilitas kapal akibat adanya perubahan letak titik pemasangan Bow Thruster.
- c) Analisa teknis yang dimulai dari perhitungan tahanan dan perhitungan thrust, untuk mendapatkan besar daya mesin dari bow/stern thruster yang diperlukan.
- d) Analisa teknis tidak membahas sistem control Bow Thruster.

## 5. Manfaat

Dengan adanya skripsi ini maka diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut.

1. Mengetahui *Thrust* yang dihasilkan oleh Bow Thruster akibat perubahan panjang tunnel.
2. Mengetahui pengaruh *Thrust* yang dihasilkan tersebut dengan akselerasi kapal pada saat proses maneuver.

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Sebuah kapal mungkin perlu untuk manuver tidak hanya ketika tiba atau berangkat dari pelabuhan tetapi juga saat melintasi kanal dan zona alur pelabuhan. Dalam proses ini, jumlah maksimum daya manusia yang tersedia dan semua sistem tanpa awak yang beralih ke kontrol manual sehingga kontrol penuh dari kapal tercapai. Sebagian besar tabrakan dan kapal kandas yang dilaporkan selama proses manuver kapal, dan karenanya operasi manuver dianggap waktu yang paling penting kapal dalam berlayar.

Ketika memasuki atau meninggalkan pelabuhan, pilot laut, kapal percontohan, atau pilot maritim disebut di kapal, yang manuver kapal dari titik masuk, yang dikenal sebagai titik percontohan, hingga dermaga atau sebaliknya.

### 2.1 Pengertian Thruster

Untuk meningkatkan kemampuan manuver kapal peralatan khusus telah didesain untuk memberikan *side thrust* 360<sup>0</sup> derajat. Kemampuan ini memungkinkan kapal untuk lebih independent dari *Tug Boat* saat memasuki pelabuhan. Ada tiga jenis umum dari peralatan ini. Tipe paling umum adalah tunnel thruster yang terdiri dari sebuah propeller yang dipasang pada posisi melintang kapal pada sebuah tunnel. [5]

Bow thruster adalah perangkat propulsi dipasang ke beberapa jenis kapal untuk meningkatkan kemampuan

manuver. Unit dorong ini terdiri dari baling-baling dipasang di sebuah terowongan pada posisi melintang kapal dan tersedia dengan beberapa tambahan penggerak seperti motor listrik atau hidrolik. Selama operasi air dipaksa melalui terowongan untuk mendorong kapal ke samping baik ke pelabuhan atau bagian kanan seperti yang diperlukan. [6]

## 2.2 Jenis-jenis Thruster

### a. ***Tunnel Thruster***

Tunnel thruster atau yang lebih dikenal luas sebagai 'Bow Thruster' adalah tipe tunnel yang dipasang pada bagian depan (bow) kapal.

Letak terowongan / *tunnel thruster* berada pada bagian depan (belakang sekat haluan) arah garis melintang. Kita dapat menyediakan motor elektrik untuk mengemudikannya, digerakkan mesin hidrolik dan mesin untuk mengemudi terowongan *thrusters* dari 15kW ke 1300kW. Struktur terowongan / *tunnel* dapat menggunakan baja, aluminium dan FRP yang tergantung pada material kapal secara umum atau jenis kapal (seperti: kapal FRB menggunakan FRP, kapal baja menggunakan plat baja, dll). Suatu busi penuh dan main paket dikemudikan elektris terdiri dari suatu terowongan / *tunnel* dengan motor elektro, frekwensi mengemudi dengan standard pabrik diprogramkan dan suatu panel pengawas utama dengan *joystick* sebanding untuk kendali tanpa melangkah. Alat penghubung untuk pengintegrasian yang penuh dengan dinamis memposisikan sistem adalah opsional. [6]



b. ***Jet Thruster***

*Jet thruster* adalah sebuah tipe pompayang mengambil suction dari dasat atau mendekati dasar dari kapal dan discharge ke bagin kanan atau kiri yang mendorong sampai 360 derajat. Propeller membutuhkan pengoperasian hanya pada satu arah yang memungkinkan untuk sebuah system prime mover. Penggerak electric-hydraulic maupun hydraulic atau motor listrik bisa digunakan. Jet thruster awalnya digunakan untuk perairan dalam dimana kapal kosong seringkali draft yang terbatas. [6]

c. ***Trainable Thruster***

*Azimuth thruster* mampu bergerak berputar 360 derajat. *Azimuth thrusters* ada tersedia dalam *Z-Drive* bentuk wujud dengan mesin diesel langsung atau dalam bentuk wujud *L-Drive* untuk motor elektrik atau motor hidrolik. Sistem kendali menggunakan suatu alat penghubung untuk Sistem auto pilot. [6]

## 2.3 **Gambaran Umum Bow Thruster [7]**

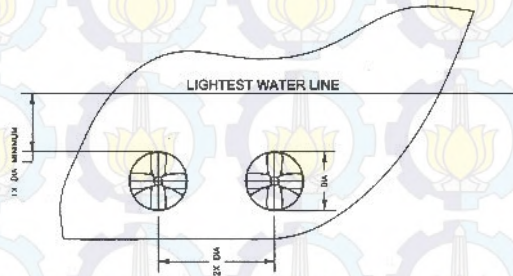
Pemasangan bow thruster memperbesar kemampuan maneuver sebuah kapal yang memiliki bulbous bow. Dengan memanfaatkan energi putaran dari propeller pada tunnel thruster suatu kapal, arah dari kapal dapat dibelokkan dengan lebih cepat dibanding kapal tanpa bow thruster. Dengan mengandalkan kemampuan dari bow thruster ini, dapat dikembangkan dengan memberikan tambahan pada bagian tunnel thruster. Tambahan tersebut yakni dengan memberikan penutup pada bow thruster yang dapat terbuka dan tertutup. Fungsi dari penutup

tunnel ini tidak hanya sebagai pembuka dan penutup saja, namun lebih mengarah pada penambahan kemampuan maneuvering kapal yang memanfaatkan bow thruster.

Thrustmaster tunnel thruster memiliki kemudahan dalam melakukan pemasangan. Keseluruhan dari bagian ini telah siap dipasang pada bagian tunnel dan semua yang dibutuhkan dalam proses ini adalah memasang bagian dari tunnel di dalam lambung. Dengan tunnel thruster hidrolik, kerja dari tunnel thruster bisa dilakukan dengan maksimal melalui bukaan yang dapat mengarahkan tekanan ke berbagai sudut yang optimal melalui saluran pipa hidrolik. Panjang dari tunnel dapat diperluas oleh butt-welding pipe dengan menggunakan material yang sama dengan diameter dan dengan ketebalan dinding sampai ujung dari standard tiga kaki bagian tunnel dari thruster. Sebagai alternatif, thruster disesuaikan dengan panjang terowongan (total panjang tunnel yang ditentukan) untuk menghemat waktu dan uang semasa proses instalasi.

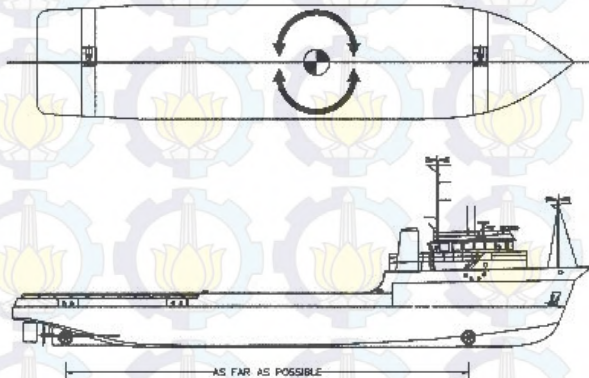
Ketika menambahkan sebuah tunnel thruster pada kapal yang sudah ada, potongan lubang tunnel pada bagian sekat pemisah bujur yang mendorong ke dalam dari satu sisi hingga posisi yang diinginkan. Sesuai submergence dari terowongan tersebut, diperlukan untuk mencegah vortexing dan air entrainment. Ketika tekanan udara naik pada aliran terowongan selama operasi, pendorong akan mengalami cavitation, sehingga menghasilkan bising berlebih, getaran, dan pengurangan substansil dari keluaran daya tolak dan kerusakan mungkin saja menuju ke thruster. Kalau dua atau lebih tunnel pendorong dipasang, pusat dari masing-masing

tunnel harus menjadi dua kali diameter terowongan (2D) yang terpisah.



**Gambar 2.1** Tipikal posisi tunnel thruster [7]

Bentuk terowongan pendorong untuk mengatur siasat maneuver dipasang sebagai pengarah maju atau mundur pada kapal. Hal ini dapat meningkatkan gerakan putar yang efektif saat kapal ber-manouver. Umumnya direkomendasikan bahwa baling-baling ditempatkan dekat centerline kapal sehingga daya tolak ada dan tersedia ke kiri dan kanan.



**Gambar 2.2** Typical tunnel thruster placement [7]

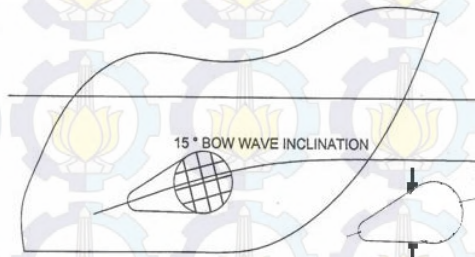


Pengaturan jumlah dan arah aliran air yang melewati haluan kapal dapat dilakukan dengan cara memberikan penutup tabung yang tepat dalam segi bentuk, desain, konstruksi, dan kekuatannya. Ketika berjalan, kapal akan mendapatkan hambatan ketika diberi bow thruster, dengan adanya penutup ini, hambatan dapat dikurangi.



**Gambar 2.3** Rencana penutup thruster [7]

Penutup tabung bow thruster yang dapat terbuka dan tertutup disesuaikan dengan arah maneuver kapal dibuat dengan system hidrolik. Penutup tabung bow thruster dapat berputar hingga 180o ke arah sisi dalam dan luar kapal dan berputar melalui panel control sesuai kebutuhan maneuvering.



**Gambar 2.4** Bentuk closure bow thruster [7]

Tujuan putaran Penutup tabung bow thruster adalah untuk dapat mengatur aliran fluida dari sisi satu kapal ke sisi lainnya untuk memanuver lebih baik lagi. Panel Control penutup tabung bow thruster merupakan satu kesatuan dari bow thruster tersebut. Pembuatan penutup ini harus didesain dengan perencanaan yang amat matang. Menghemat konsumsi bahan bakar yang juga otomatis berdampak menghemat pengeluaran biaya operasi pelayaran dan mempersingkat waktu serta jarak manuver pelayaran.

#### 2.4 Pemilihan Gaya Dorong Bow Thruster [8]

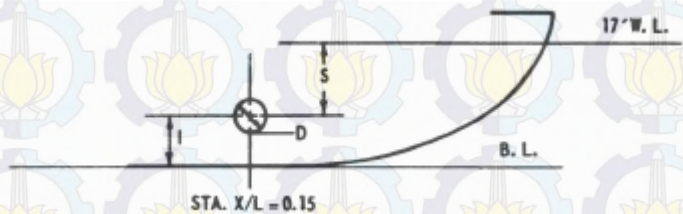
Pada saat ini bow thruster mendominasi peralatan maneuver atau maneuvering propulsion devices (MPD). Desain gaya dorong pada bow thruster diperoleh jika respon gaya dorong sisi (side force) kapal ditentukan. Nilai turning rate atau  $\omega$  (degree/sec) ketika kapal dalam periran menjadi salah satu kriteria. Rotasi tetap (steady rotation) kapal secara dasar adalah masalah gaya tarik (drag). Dengan memodelkan kapal sebagai sebuah pela datar dengan dimensi L dan H, Hawkins [6] menghitung  $\omega$  sebagai perbandingan untuk menghitung nilai  $\omega$  dari kapal. Berikut ini adalah salah satu contoh bagaimana menghitung kebutuhan gaya dorong pada sebuah kapal yang diberikan pada jurnal ini. Sebuah kapal dengan dimensi utama seperti di bawah ini:

- Displacement kapal adalah  $3 \times 10^3$  ton
- Panjang kapal (L) adalah 275 feet
- Lebar kapal (B) adalah 54 feet
- Tinggi kapal (H) adalah 17 feet

Asumsikan centerline dari selubung 12 feet berada ada station  $0.15L$  dan duty cycle membutuhkan turning moment pada 3 knots.

a) Step 1

Langkah pertama yang harus dilakukan adalah mengasumsikan posisi tunnel dan diameter tunnel seperti pada gambar dibawah ini.



**Gambar 2.5** Posisi Tunnel Thruster [8]

Asumsikan bahwa diameter tunnel adalah 0.5 l atau 6 feet dan dasar celupan (bottom immersion) adalah  $I = D$ . Pertimbangkan  $D_{max}$  adalah 8 feet dan  $D_{min}$  adalah 4 feet. Berdasarkan pada table dibawah ini nilai  $D =$  feet masih memenuhi.

**Tabel 2.1** Perbandingan Nilai  $D$ ,  $I$  dan  $S$

$D$ (feet)	$I$ (feet)	$S$ (feet)	$I/D$
8	8	9	1.5
6	6	11	2.0
4	4	13	3.0



b) Step 2

Menentukan kebutuhan gaya dorong bow thruster.

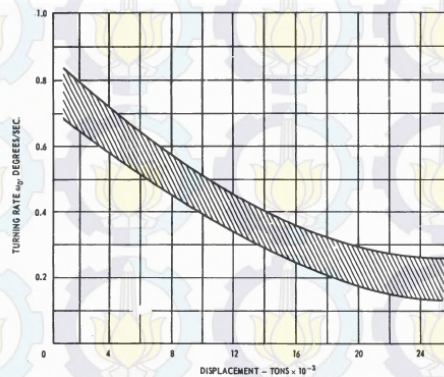
$$T = \frac{U_0^2 \times L^3 \times H}{M_o^2}$$

$$= \frac{0.68^2 \times 275 \times 17}{97^2}$$

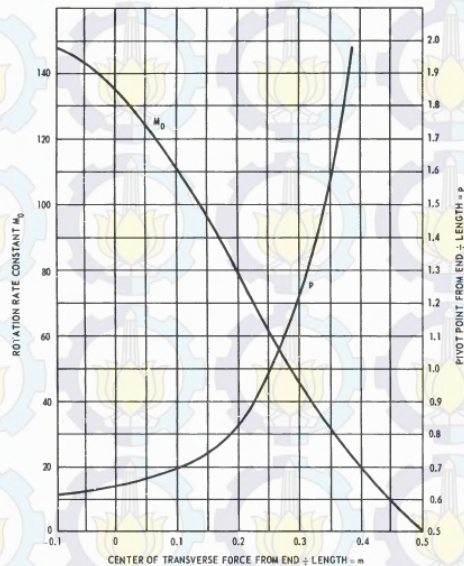
$$= 17.38 \quad \text{lb}$$

Keterangan:

- $U_0$  adalah Turning Rate 0.68 degrees/sec (Pembacaan Gambar 2.6)
- $M_o$  adalah Rotation Rate 97 (Pembacaan Grafik 2.7)



**Gambar 2.6** Band of Rotation Rates versus Displacement with MPD at Zero Speed [8]



**Gambar 2.7** Pivot Point & Rotation Rate Constant for a Single Side Force Acting on a Ship [8]

## 2.5 Dasar-dasar CFD [9]

### a) Pengertian CFD (Computational Fluid Dynamics)

Untuk kebutuhan penelitian tentang aliran fluida baik cair maupun gas sampai dengan tingkat desain, perlu dibutuhkan suatu alat yang mampu menganalisis atau memprediksi dengan cepat dan akurat. Maka, berkembanglah suatu ilmu yang dinamakan Computational Fluid Dynamics (disingkat CFD, dalam bahasa Indonesia, Komputasi Aliran Fluida Dinamik).

Untuk lebih jelasnya tentang pengertian CFD maka bisa diartikan secara harfiah, yaitu:



- Computational, segala sesuatu yang berhubungan dengan matematika dan metode numerik atau komputasi.

- Fluid Dynamics, dinamika dari segala sesuatu yang mengalir.

Ditinjau dari istilah di atas, CFD bisa berarti suatu teknologi komputasi yang memungkinkan anda untuk mempelajari dinamika dari benda – benda atau zat – zat yang mengalir.

Secara definisi, CFD adalah ilmu yang mempelajari cara memprediksi aliran fluida, perpindahan panas, reaksi kimia, dan fenomena lainnya dengan menyelesaikan persamaan–persamaan matematika (model matematika).

b) Penggunaan CFD

Penggunaan CFD umumnya berhubungan dengan keempat hal berikut :

- Studi konsep dari desain baru.
- Pengembangan produk secara detail.
- Analisis kegagalan atau troubleshooting.
- Desain ulang

c) Manfaat CFD

Terdapat tiga hal yang merupakan alasan kuat kenapa anda harus menggunakan CFD, yaitu insight (pemahaman mendalam), foresight (prediksi menyeluruh), dan efficiency (efisiensi waktu dan biaya).

d) Proses Simulasi

Pada umumnya terdapat tiga tahapan yang harus dilakukan ketika kita melakukan simulasi CFD, yaitu preprocessing, solving, dan postprocessing.

1. Preprocessing, merupakan langkah pertama dalam membangun dan menganalisis sebuah model CFD. Teknisnya adalah membuat model dalam paket CAD (Computer Aided Design), membuat mesh yang cocok/ sesuai, kemudian menerapkan kondisi batas dan sifat – sifat fluidanya.
2. Solving, solvers (program inti pencari solusi) CFD menghitung kondisi – kondisi yang diterapkan pada saat preprocessing.
3. Postprocessing, adalah langkah terakhir dalam analisis CFD. Hal yang dilakukan pada langkah ini adalah mengorganisasi dan menginterpretasi data hasil simulasi CFD yang bisa berupa gambar, kurva, atau animasi.

Prosedur berikut terdapat pada semua pendekatan program CFD, yaitu:

- Pembuatan geometri dari model.
- Bidang atau volume yang diisi oleh fluida dibagi menjadi sel – sel kecil (meshing).
- Pendefinisian model fisiknya, misalnya persamaan – persamaan gerak, entalpi, atau konservasi species (zat – zat yang kita definisikan, biasanya berupa komponen dari suatu reaktan).
- Pendefinisian kondisi – kondisi batas, termasuk di dalamnya sifat – sifat dan perilaku dari batas – batas model.

- Persamaan – persamaan matematika yang membangun CFD diselesaikan secara iterative.
  - Analisis dan visualisasi dari solusi CFD.
- e) Macam – Macam Perangkat Lunak CFD

Ada banyak macam – macam perangkat lunak CFD yang bisa kita gunakan dalam analisa. Tidak semuanya memiliki fungsi yang sama. Penggunaannya tergantung dari situasi yang sedang kita hadapi, misalnya tergantung dari masalah yang ingin kita selesaikan.

Berikut ini beberapa contoh software CFD yang bisa kita gunakan:

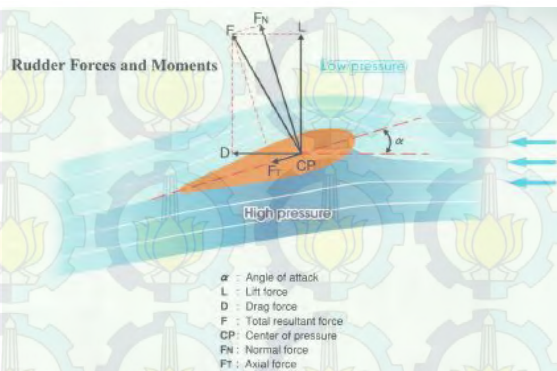
- ANSYS (CFX dan Fluent)
- NUMECA (FINE<sup>TM</sup>/Open, FINE<sup>TM</sup>/Turbo dan FINE<sup>TM</sup>/Marine).

### 1.1 Maneuver Kapal

#### a) Gaya Dorong Rudder

Sistem propulsi kapal merupakan tenaga penggerak utama yang digunakan pada saat running secara lurus maupun maneuver. Dengan bantuan dari rudder maka gaya dorong dari system propulsi tersebut bisa diarahkan sehingga kapal bisa berbelok atau melakukan maneuver. Tidak semua jenis kapal dilengkapi dengan peralatan tambahan seperti side atau stern thruster untuk menambah gaya dorong saat melakukan maneuver sehingga akselerasi kapal menjadi lebih tinggi.





**Gambar 2.7** Rudder Force [10]

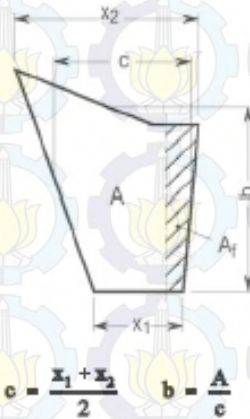
Pada gambar diatas menunjukkan bahwa ketika rudder dibelokkan sebesar  $\alpha$  maka terjadi beberapa gaya pada rudder (drag, lift). Arah gaya inilah (lift) yang menyebabkan kapal bisa berbelok dan mampu melakukan manuver.

Untuk menghitung seberapa besar gaya dorong (lift) yang dihasilkan oleh rudder bisa merujuk pada persamaan berikut.

$$F_R = 21 \times A_R V^2 \delta_R \quad [11]$$

- $F_R$  adalah gaya dorong pada rudder dalam Newton.
- $A_R$  adalah luas area dari rudder dalam  $m^2$ .
- $V$  adalah kecepatan kapal pada saat manuver yang diasumsikan sebagai kecepatan aliran fluida pada rudder dalam knot.
- $\delta_R$  adalah sudut dari rudder pada saat manuver (rudder angle).

Untuk mencari nilai span dan mean chord dari rudder setelah luas area dari rudder diketahui bisa dihitung dengan menggunakan gambar dibawah ini.

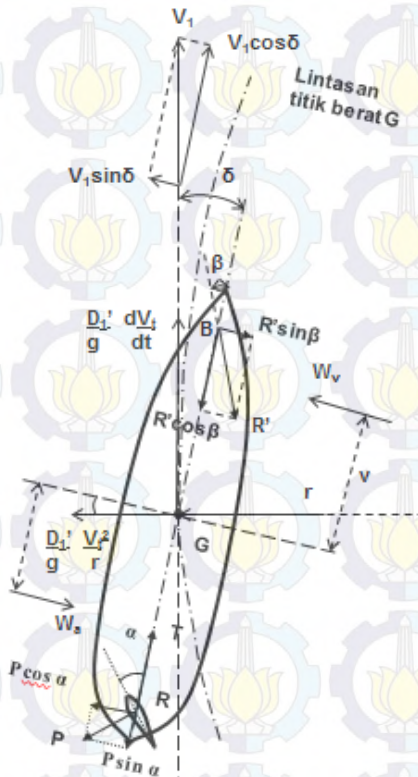


**Gambar 2.7** Rudder Force [12]

b) Resultan Gaya Dorong Rudder & Bow Thruster

Pada kapal yang dipasang thruster pada sisi bow ataupun stern maka pada saat maneuver ada 2 gaya dorong yang bekerja pada kapal. Resultan dari kedua gaya ini akan menambah gaya dorong kapal pada saat maneuver.

Pada gambar dibawah ini bisa dilihat bahwa ada 2 gaya dorong yang bekerja pada kapal dari system propulsi (rudder) dan gaya dorong dari Bow Thruster. Pada saat rudder dibelokkan sebesar  $\alpha$  maka resultan gaya dorong rudder (lift) adalah sebesar  $P \cos \alpha$ . Sedangkan gaya dorong dari Bow Thruster adalah sesuai dengan spek dari bow thruster tersebut. Momen (torsi) putar rudder didapatkan dari perkalian antara  $P \cos \alpha$  dengan  $X_1$  (jarak antara center gravity kapal atau titik G dengan rudder). Sedangkan momen (torsi) putar bow thruster didapatkan dari perkalian antara  $P$  dengan  $X_2$  (jarak antara center gravity kapal atau titik G dengan bow thruster). Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada gambar dibawah ini.



**Gambar 2.7** Resultan Force [12]

c) Dasar Maneuver Kapal [13]

Penelitian dan pengembangan terhadap kemampuan maneuver kapal dan respon terhadap sistem kontrol terhadap kondisi di laut bebas pada alur dan kolam terus dilakukan. Hasil penelitian telah dilakukan untuk mendesain shiphull (lambung kapal), system control di kapal dan pada saat menetapkan persyaratan navigasi serta dalam mendesain alur dan kolam agar mempertimbangkan faktor yang



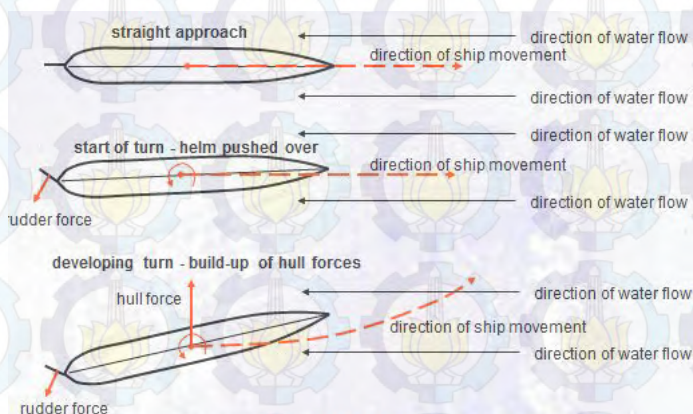
mempengaruhi kemampuan manuver kapal. Faktor-faktor tersebut antara lain:

- Bobot kapal.
- Dimensi kapal.
- Shiphull (lambung kapal).
- Rudder system (sistem kemudi).
- Horse power.

Karakteristik kapal meliputi:

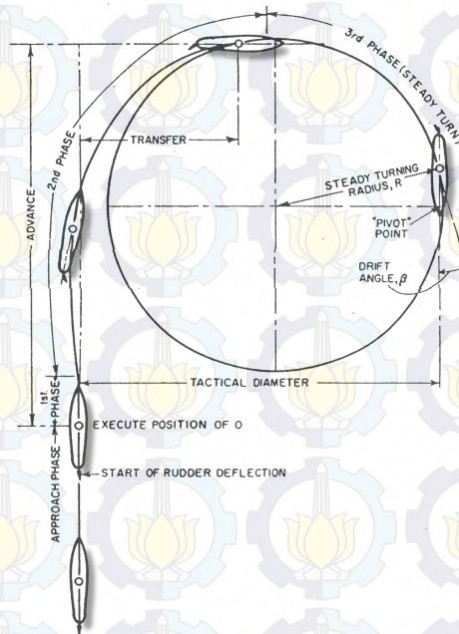
- Reaksi kapal pada saat perubahan kapal.
- Kemampuan berputar.
- Jarak henti.
- Ratio antara jarak dan lebar kapal.
- Ratio antara lebar dan draft.
- Area rudder.

Berikut ini adalah proses manuver kapal.



Drag and propulsive forces not shown.

**Gambar 2.8** Dasar Maneuver Kapal [11]



**Gambar 2.9** Dasar Maneuver Kapal [11]

Keterangan:

1. Kapal pada posisi olah gerak lurus dimana rudder belum dibelokkan.
2. Pada saat rudder akan dibelokkan 15 derajat kapal masih dalam gerakan lurus. Lalu pada titik P ditarik garis ke sumbu X sejauh Tactical Diameter (TD) & ke arah verikal sejauh Advance (Ad). Dari titik akhir Advance (Ad) ditarik garis lurus ke arah sumbu X sejauh Transfer (Tr).
3. Titik akhir pada garis Transfer (Tr) merupakan titik pusat kapal (G) setelah kapal melakukan proses maneuver.



4. Dari titik akhir Tactical Diameter (TD) ditarik garis lurus ke arah vertical. Dari keempat garis yang membentuk segi empat tarik titik tengah atau titik pusat (M).
  5. Dari titik pusat (M) tarik garis ke arah sumbu X sejauh  $\frac{1}{2}$  dari TD. Titik ini merupakan heading dari titik P kapal. Sehingga seolah-olah posisi kapal berada tegak lurus.
  6. Lalu tarik garis dari titik pusat (M) ke titik pusat kapal (G). hubungkan kedua titik tersebut sehingga membentuk garis. Garis inilah jarak atau radius (R) kapal pada kondisi Steady Turning.
- d) Menghitung Circle Turning Diameter [11]
- Pada saat melakukan circle turning diameter ada beberapa tahap yang dilakukan oleh kapal sehingga membentuk sebuah lintasan berbentuk lingkaran dengan radius tertentu. Tahap itu adalah:
1. Advance - Advance adalah jumlah jarak gerakan asli kapal sampai kapal dalam keadaan stabil (steady) pada gerakan baru. Advance diukur dari titik dimana rudder pertama kali akan dibelokkan.
  2. Transfer – Transfer adalah jumlah jarak yang diperoleh terhadap olah gerak baru (ditampilkan di sini untuk  $90^\circ$  menuju perubahan).
  3. Tactical Diameter - Tactical diameter adalah jarak yang diperoleh ke kiri atau kanan saja asli setelah pergantian  $180^\circ$  selesai.
  4. Final Diameter - Final diameter adalah jarak tegak lurus terhadap olah gerak asli diukur dari

180 ° titik melalui 360 ° (yang ditampilkan di sini untuk radius balik stabil, R).

5. Pivot Point - A ship's pivot point adalah titik pada garis tengah sekitar mana kapal ternyata ketika kemudi diletakkan.
6. Drift Angle - Drift angle adalah sudut pada setiap titik pada lingkaran balik antara persimpangan tangen pada saat itu dan garis lunas kapal.

Tahap-tahap circle turning diameter itu bisa diprediksi dengan menggunakan rumus sebagai berikut. Rumus pendekatan ini tidak bisa digunakan untuk semua ukuran kapal ada batasan-batasan yang harus diperhatikan seperti table berikut.

**Tabel 2.1** Limitations of Empirical Technique for Prediction of Turning Circle [14]

<i>Parameter</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
<i>L, m</i>	55	350
<i>C<sub>B</sub></i>	0.56	0.88
<i>δ<sub>R</sub></i> (deg)	10	45
<i>L/B</i>	5.56	9.1
<i>Trim/L</i>	0	0.05
<i>Sp · Ch/L · T</i>	0.01	0.04
<i>A<sub>B</sub>/L<sub>T</sub></i>	-0.11	+0.04
<i>V/√L</i> (knot-m <sup>-0.5</sup> )	0.20	1.0
<i>T<sub>L</sub>/T</i>	0.5	1.0

#### 1. Steady Turning Diameter (STD)

$$\frac{STD}{L} = 4.19 - 203 \frac{C_B}{\delta_R} + 47.4 \frac{Trim}{L} - \frac{13.0B}{L} + \frac{194}{\delta_R} - 35.8 \frac{Sp \cdot Ch}{L \cdot T} (ST - 1) +$$

$$+ 3.82 \frac{Sp \cdot Ch}{L \cdot T} (ST - 2) + 7.79 \frac{A_B}{L \cdot T} + 0.7 \left( \frac{T}{T_L} - 1 \right) \left( \frac{\delta_R}{|\delta_R|} \right) (ST - 1)$$

## 2. Tactical Diameter (Td)

$$\frac{TD}{L} = 0.910 \frac{STD}{L} + 0.424 \frac{V_s}{\sqrt{L}} + 0.675$$

## 3. Advance Diameter (Ad)

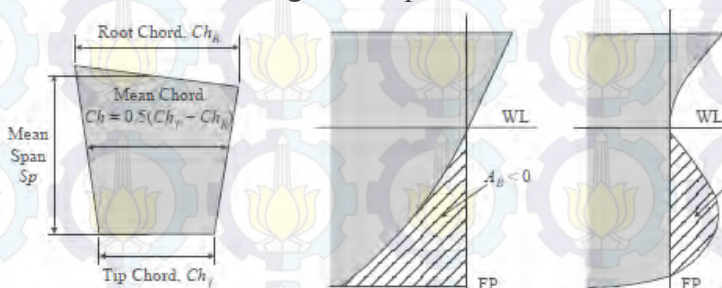
$$\frac{Ad}{L} = 0.519 \frac{TD}{L} + 1.33$$

## 4. Transfer Diameter (Tr)

$$\frac{Tr}{L} = 0.497 \frac{TD}{L} - 0.065$$

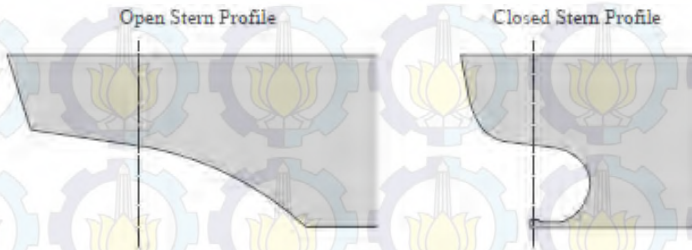
Keterangan:

- STD adalah steady turning diameter, dalam m
- TD adalah tactical diameter, dalam m
- Ad adalah advance, dalam m
- Tr adalah transfer, dalam m
- Ch adalah Mean Chord of rudder dalam m
- SP adalah Span of rudder dalam m
- ST adalah Stern Type
- TL adalah Draft kapal saat maneuver (estimasi) dalam m
- AB adalah Submerged bow profile dalam m<sup>2</sup>



**Gambar 2.10** Definisi Rudder & Bow Profile [14]





**Gambar 2.11** Type of Stern Profiles [14]

## 1.2 Static Trim Kapal

Trim adalah perbedaan antara draft depan pada haluan dan draft belakang pada buritan. Trim merupakan sudut kemiringan kapal secara membujur. [13]

Pada sebuah kapal akan berlaku bahwa stabilitas kapal dipengaruhi oleh dua faktor yaitu Faktor bentuk kapal, Faktor berat kapal. Keseimbangan dari kapal juga ditentukan oleh jarak antara titik metasentra (M) terhadap titik beratnya (G), dalam hal ini akan terjadi tiga kemungkinan dari kapal tersebut yaitu akibat adanya kondisi kapal oleng maka stabilitas kapal di bedakan atas dua macam yaitu:

### 1. Stabilita statis

Stabilitas statis adalah kemampuan kapal untuk kembali pada posisi awal dengan adanya momen koppel setelah mengalami kemiringan dengan sudut  $\phi$ .

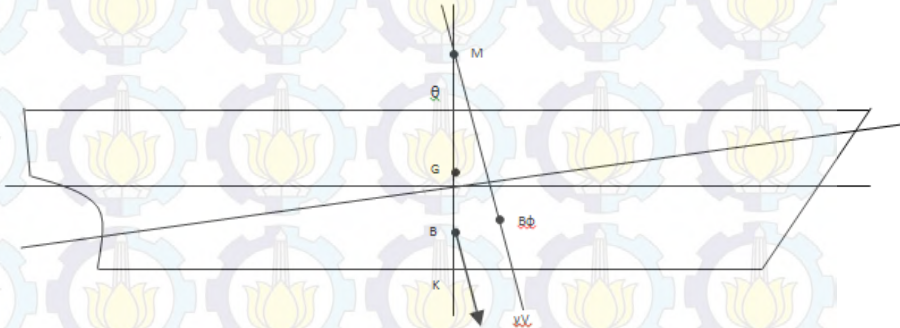
### 2. Stabilita dinamis

Stabilitas dinamis adalah stabilitas yang terjadi akibat adanya keolengan kapal pada sudut  $\phi$ , maka titik B akan berpindah ke titik  $B\phi$ , dengan sendirinya akan tampak perbedaan jarak antara  $B\phi$  Q dan BG (gambar 2.12).

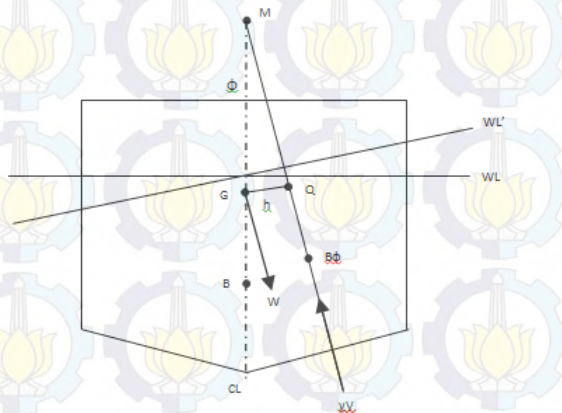
Baik stabilitas statis maupun stabilitas dinamis selalu ditinjau dari dua bagian yaitu:

Stabilitas awal yaitu stabilitas dengan sudut-sudut oleng yang kecil ( $< 60^\circ$ ) dan dalam perhitungannya menggunakan titik M sebagai titik metasentra.

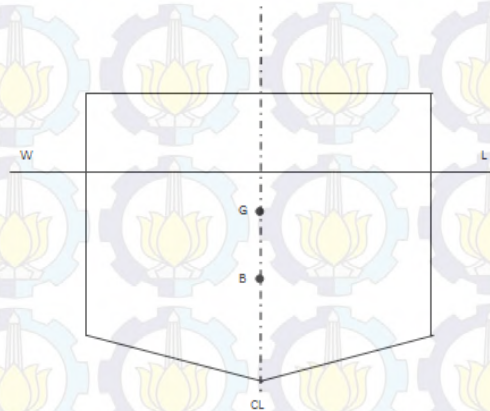
Stabilitas lanjut yaitu stabilitas dengan sudut oleng  $> 60^\circ$  dan dalam perhitungannya menggunakan titik N sebagai titik metasentra. [15]



**Gambar 2.12** Kapal Dalam Keadaan Trim [15]



**Gambar 2.13** Kapal Dalam Keadaan Oleng [15]



**Gambar 2.12** Kapal Dalam Keadaan Stabil [15]

Perhitungan satic trim dapat dilakukan dengan rumus berikut ini. [16]

$$\begin{aligned}
 B' &= (7.7 + 20(1-Cb)^2 \times b \\
 S &= \frac{b \times T}{B \times H} \\
 \delta_{\max} (\text{Trim}) &= \frac{Cb \times S^{0.81} \times V_k^{2.08}}{20}
 \end{aligned}$$

Keterangan:

- B' adalah influence pada lebar kapal
- Cb adalah Block Coefficient kapal
- T adalah sarat kapal dalam meter
- H adalah tinggi kapal dalam meter
- B adalah lebar kapal dalam meter

## **BAB III**

### **METODOLOGI**

Yang dimaksud Tunnel Panjang pada Tugas akhir ini adalah seiring dengan perubahan letak posisi pemasangan Bow Thruster, maka juga akan ada perubahan panjang tunnel akibat perubahan bentuk water line dari kapal. Semakin ke depan (arah haluan kapal) maka akan semakin pendek panjang tunnel dari Bow Thruster. Pada Tugas Akhir ini akan dilakukan pemodelan gambar dan disimulasikan pada CFD. CFD adalah salah satu jenis software yang didalamnya terdapat Solver' untuk menganalisa aliran fluida (gas ataupun air) yang dihasilkan pada sebuah pemodelan system.

#### **3.1 Deskripsi Flow Chart**

##### **a. Studi Literatur**

Adalah melakukan studi materi dan referensi yang menunjang pengerjaan skripsi baik dari buku, artikel, majalah, dan sumber terpercaya lain. Juga Dilakukan evaluasi terhadap existing tugas akhir, paper, jurnal maupun artikel tentang Bow Thruster.

##### **b. Perhitungan Gaya Dorong Bow Thruster**

Perhitungan ini dilakukan untuk mengetahui kebutuhan gaya dorong atau thrust Bow Thruster pada kapal ini. Sebagai acuan titik awal peletakan posisi Bow Thruster ini sesuai dengan Desain awal kapal pembanding.

##### **c. Pemilihan Spek Bow Thruster**

Setelah kebutuhan gaya dorong atau thrust diketahui maka hal selanjutnya adalah mencari spek yang sesuai di

pasaran. Spek ini dibutuhkan untuk pemodelan gambar pada proses simulasi. Data yang dibutuhkan untuk pemodelan adalah diameter propeller, jumlah blade, jenis blade, panjang selubung dan diameter selubung.

d. Penentuan Titik Perubahan Panjang Tunnel

Perubahan posisi pemasangan Bow Thruster dilakukan kea arah depan kapal. Pada Tugas Akhir ini perubahan posisi ini akan dilakukan sebanyak 4 kali. Dengan adanya perubahan posisi ini maka akan terjadi perubahan oanjang tunnel. Dimana semakin ke depan (arah haluan kapal) maka semakin pendek panjang tunnel.

e. Penggambaran Model & Simulasi Pada CFD

Penggambaran model ini dilakukan untuk mensimulasikan gaya dorong atau thrust yang dihasilkan oleh Bow Thruster dengan adanya perubahan panjang tunnel.

f. Validasi CFD

Validasi CFD adalah keakuratan hasil simulasi yang digunakan untuk pemodelan suatu system atau benda. Ada 3 jenis validasi CF, yaitu

- Grade
- Eksperimental
- Numerical

Pada Tugas Akhir ini validasi CFD yang digunakan adalah grade.



g. Hasil & Analisa Thrust Akibat Perubahan Panjang Tunnel

Dari hasil simulasi pada CFD di analisa bagaimanakah gaya dorong yang dihasilkan akibat perubahan panjang selubung (tunnel).

h. Perhitungan Simulasi Maneuver

Pada tahap ini hasil output dari simulasi CFD digunakan sebagai input parameter pada perhitungan circle turning diameter.

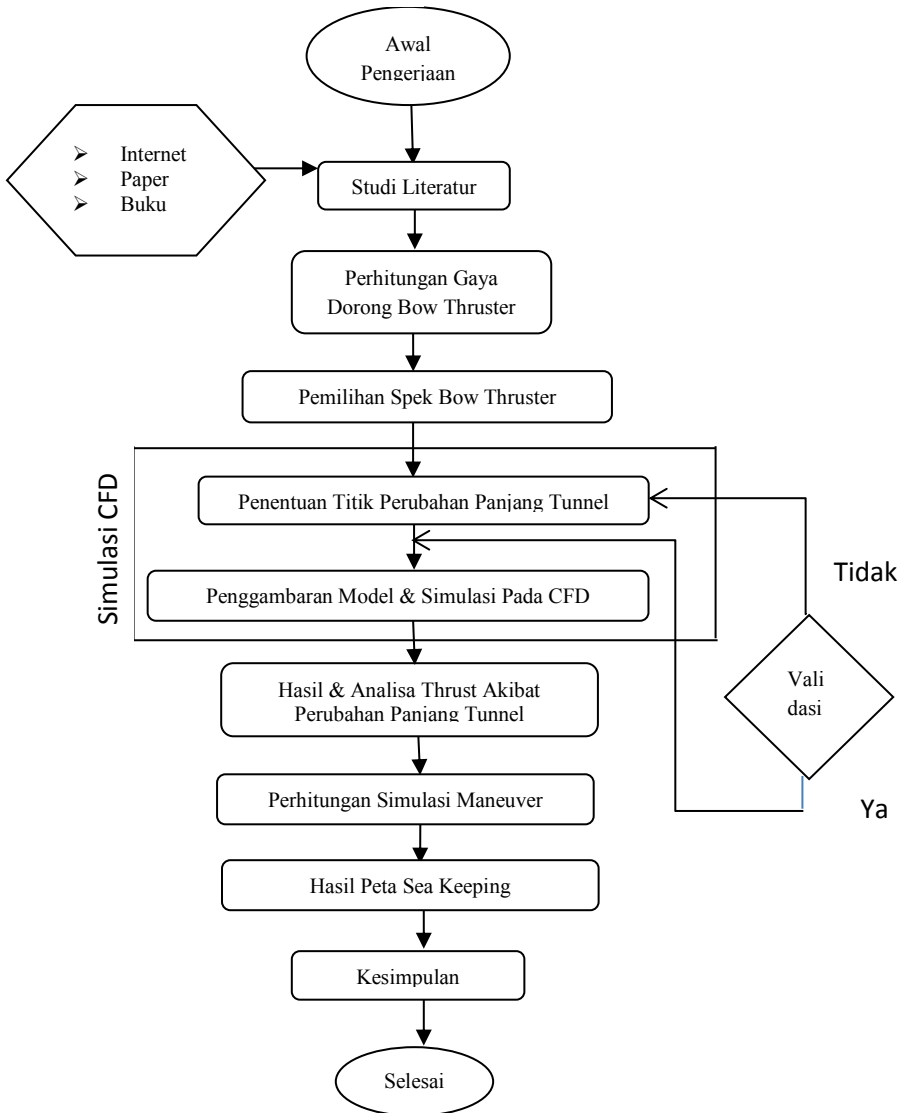
i. Hasil Peta Seakeeping

Hasil perhitungan circle maneuver digunakan sebagai inputan dalam penggambaran circle turning diameter.

j. Kesimpulan

Tahap akhir dari Tugas akhir ini akan di tarik kesimpulan yang dapat menjawab perumusan masalah dan tujuan pada tugas akhir ini.

### 3.2 Flow Chart



**Gambar 3.1 Flow Chart Metode Penelitian**

## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Data Utama Kapal

Pada Tugas Akhir ini perencanaan bow thruster untuk tunnel panjang akan dilakukan pada kapal AHTS dengan dimensi utama sebagai berikut.

**Tabel 4.1** Data Utama Kapal

Lpp	52,35	m
Lwl	54,68	m
Loa	56,30	m
B	14,00	m
H	6,25	m
T	4,00	m
Vs	12,00	knots

#### 4.1.1. Perhitungan Cb, Cp, Cm

Berdasarkan pembacaan pada diagram NSP maka nilai-nilai koefisien akan didapatkan sebagai berikut:

**Tabel 4.2** Pembacaan Diagram NSP

$\beta$ (Cm)	0.7365
$\delta$ (Cb)	0.5965
$\varphi$ (Cp)	0.6123

#### 4.1.2. Perhitungan Displacement

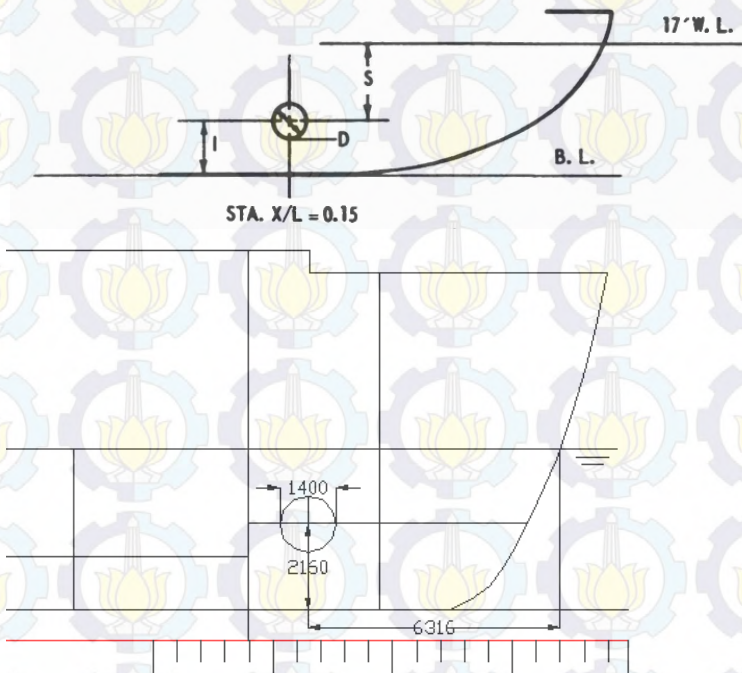
$$\begin{aligned}
 \nabla &= L \times B \times T \times C_b \\
 &= 52,35 \times 0,5837 \times 14 \times 4 \\
 &= 1787 \quad \text{m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta &= \nabla \times p \\
 &= 1787 \times 1,025 \\
 &= 1832 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

## 4.2. Perhitungan Bow Thruster

### 4.2.1. Gaya Dorong Bow Thruster

Pada tahap ini akan dilakukan perhitungan ulang untuk kebutuhan gaya dorong pada kapal AHTS. Letak dan posisi tunnel pada kapal akan dijadikan sebagai acuan dalam perhitungan ini.



**Gambar 4.1** Peletakan Posisi Awal Bow Thruster

$$\begin{aligned}
 T &= \frac{W_o^2 \times L^3 \times H}{M_o^2} \\
 &= \frac{0.7^2 \times 179.41^3 \times 20.51}{102^2} \\
 &= 7284 \quad \text{lb} \\
 &= 3303.3 \quad \text{Kg} \\
 &= 3.303 \quad \text{Ton}
 \end{aligned}$$

Keterangan:

H adalah tinggi kapal 6.25 meter (20.51 feet)

L adalah Lpp kapal 56.3 meter (179.41 feet)

W<sub>o</sub> adalah Turning Rate 0.8 degrees/sec (Pembacaan Gambar 4.2)

M<sub>o</sub> adalah Rotation Rate 102 (Pembacaan Grafik 4.3)

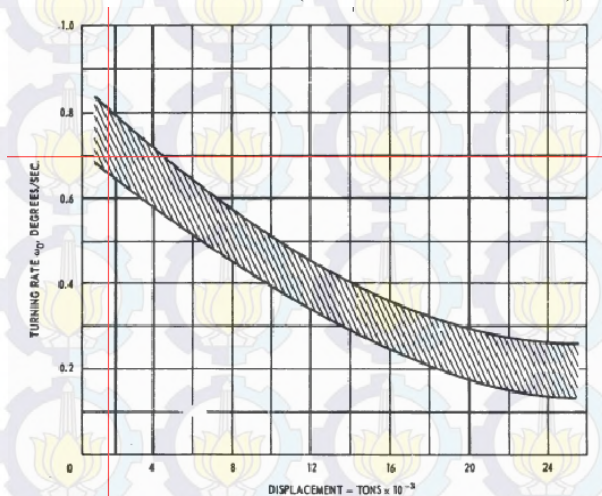


Figure 3 - Band of Rotation Rates versus Displacement with MPD at Zero Ship Speed (according to Reference 6)

**Grafik 4.2** Band of Rotation Rates versus Displacement with MPD at Zero Speed



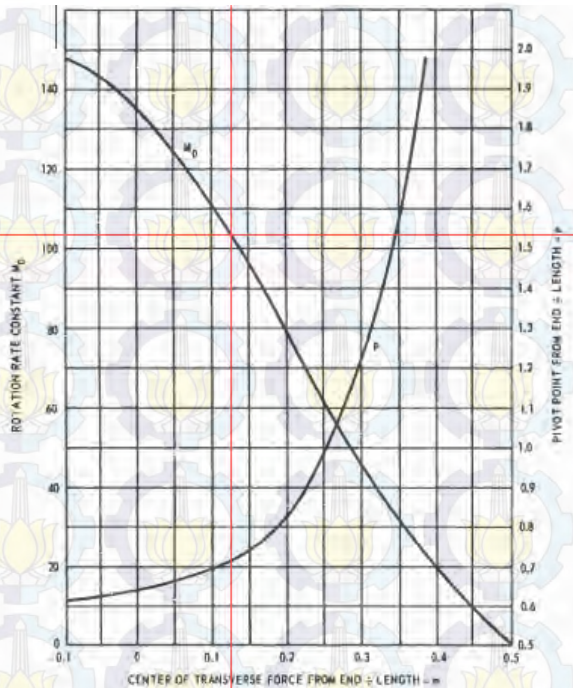


Figure 4 - Pivot Point and Rotation Rate Constant for a Single Side Force Acting on a Ship (according to Reference 5)

$$\frac{X}{L}$$

**Grafik 4.3** Pivot Point & Rotation Rate Constant for a Single Side Force Acting on a Ship

#### 4.2.2. Pemilihan Spek Bow Thruster

Berdasarkan perhitungan diatas gaya dorong yang dibutuhkan adalah 3,3 Ton atau 33 kN. Namun karena nilai gaya dorong tersebut sulit di cari di pasaran, maka dipilihlah spek dengan dimensi sebagai berikut.

**Tabel 4.3** Dimensi Bow Thruster

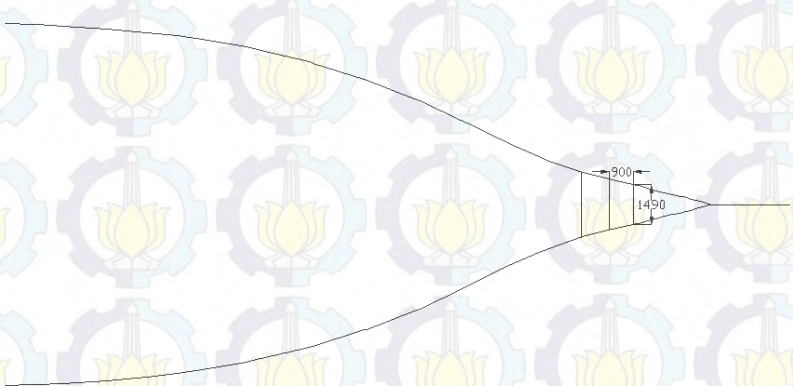
Speed	1480 Rpm	Length	1280 mm
Frekwensi	50 Hz	Thickness	15 mm
Power	250 kW	Diameter	900 mm
Nominal Thrust	42 kN	Weight	750

### 4.3. Perencanaan Perubahan Panjang Selubung (Tunnel) Thruster

Panjang tunnel secara keseluruhan 1490 mm. Panjang tunnel sesuai spek 1280 mm. Dari kedua data di atas maka ada penambahan panjang tunnel sebesar 210 mm. Berikut ini adalah perencanaan perubahan letak dan posisi tunnel.

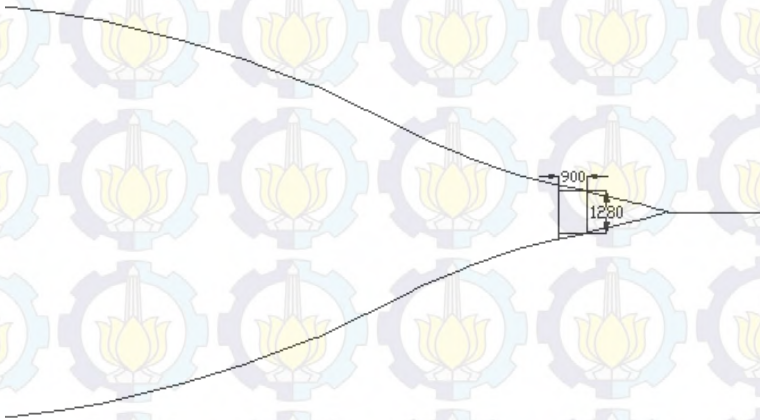
Simulasi I	Panjang Selubung 1490 mm
Simulasi II	Panjang Selubung 1448 mm
Simulasi III	Panjang Selubung 1406 mm
Simulasi IV	Panjang Selubung 1346 mm
Simulasi V	Panjang Selubung 1280 mm

#### 4.3.1 Kondisi Awal

**Gambar 4.4.** Posisi Awal Tunnel Thruster

Pada kondisi awal ini letak tunnel berada pada 6.325 meter dari FP dan pada water line 2 meter dari base line kapal. Panjang selubung (tunnel) adalah 1490 meter.

#### 4.3.2 Kondisi Akhir



**Gambar 4.5.** Posisi Akhir Tunnel Thruster

Pada kondisi ini letak tunnel berada pada 6.325 meter dari FP dan pada water line 2 meter dari base line kapal. Panjang selubung (tunnel) adalah 1280 meter.

#### 4.4 Simulasi Pada CFD

Pada tahap ini setelah dimensi utama Bow Thruster didapatkan maka hal selanjutnya adalah melakukan pemodelan Bow Thruster dan simulasi solver pada CFD.

##### 4.4.1 Pemodelan Daun Propeller Bow Thruster

Dari dimensi Bow Thruster yang telah didapatkan dari spek (diameter dan jumlah blade) hal yang dibutuhkan



selanjutnya adalah pitch ratio dan area ratio dari daun propeller.

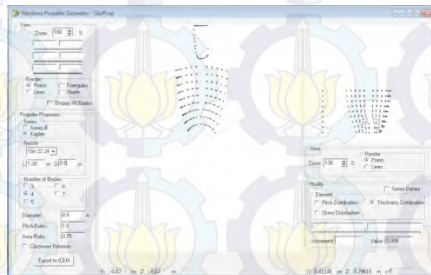


**Gambar 4.6.** Nilai dari Pitch Ratio & Area Ratio propeller

Berdasarkan data di atas maka nilai yang diambil pada desain propeller Bow Thruster ini adalah

- Pitch Ratio : 1.6
- Area Ratio : 0.75

Setelah data yang dibutuhkan sudah lengkap maka hal selanjutnya adalah proses pemodelan daun propeller pada software Propeller Geometri.

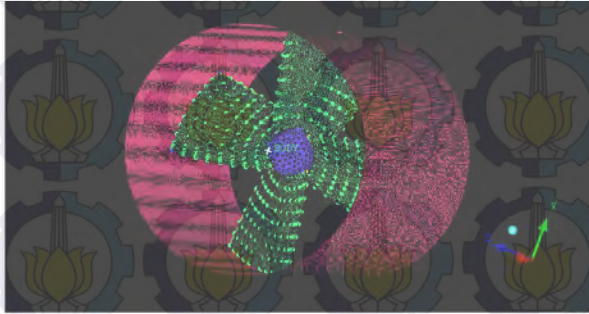


**Gambar 4.7.** Pemodelan Pada Propeller Geometri

#### 4.4.2 Pemodelan Bow Thruster

Pada proses ini hasil pemodelan pada Propeller Geometri lalu diexport ke CFD. Lalu pada CFD ditambahkan

selubung (tunnel) dengan dimensi sesuai spek dan panjang sesuai simulasi.



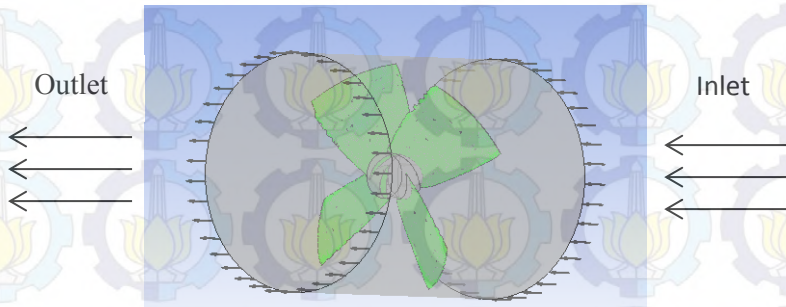
**Gambar 4.8.** Pemodelan Bow Thruster

#### 4.4.3 Proses Solver Pada CFD

Setelah proses pemodelan Bow Thruster selesai hal selanjutnya adalah proses simulasi solver pada CFD. Berikut ini adalah data yang harus diinputkan pada solver CFD.

**Tabel 4.4** Data Input Pada Solver CFD

Panjang Selubung			
- Simulasi I	1490 mm	Inlet	
- Simulasi II	1448 mm	- Speed	2 knot
- Simulasi III	1406 mm	- Pressure	1 atm
- Simulasi IV	1346 mm	Outlet	
- Simulasi V	1280 mm	- Pressure	1 atm



**Gambar 4.9.** Solver CFD

Keterangan:

Pada solver CFD nilai kecepatan air pada inlet selubung adalah 2 knot. Kecepatan kapal saat proses maneuver menjadi acuan penentuan nilai tersebut. Rata-rata kecepatan kapal adalah 2-4 knot pada saat maneuver. Dikhawatirkan semakin tinggi kecepatan kapal maka aliran air akan sulit untuk masuk ke selubung (tunnel) sehingga gaya dorong dari Bow Thruster menjadi tidak maksimal. Pressure atau tekanan udara pada sisi inlet dan outlet adalah sama yaitu 1 atm.

Berikut ini adalah beberapa parameter hasil simulasi (force) pada Bow Thruster dari solver CFD yang digunakan sebagai input pada proses maneuver kapal. Untuk hasil simulasi yang lebih lengkap akan dilampirkan pada Tugas Akhir ini.

**Tabel 4.5** Data Output Pada Solver CFD

	Selubung I	Selubung II	Selubung III	Selubung IV	Selubung V
Force (N)	41241.8	43630.5	46809.1	50670.7	53565.4
Torque (Nm)	8452.18	8957.8	9546.29	10312.9	10963

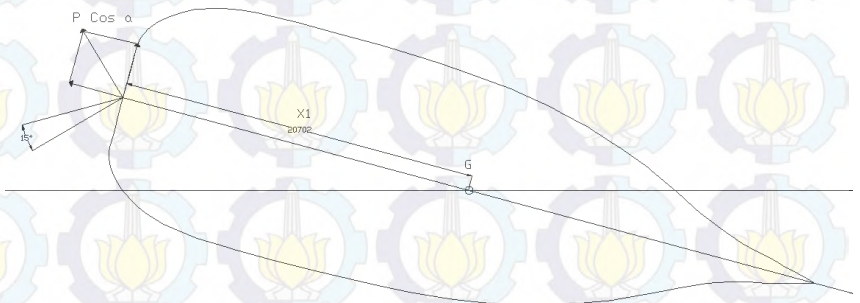


#### 4.5 Simulasi Manuver Dalam Bentuk Peta Seakeeping

Dari hasil simulasi CFD akan dihasilkan gaya dorong Bow Thruster yang berbeda-beda akibat perubahan panjang selubung (tunnel). Data output ini akan digunakan sebagai inputan untuk menghitung Circle Turning Diameter pada manuver kapal.

##### 4.5.1 Manuever Kapal Dengan Gaya Dorong Rudder

Tidak semua jenis kapal dilengkapi dengan peralatan tambahan seperti thruster untuk menambah akselerasi kapal dalam proses manuever. Sehingga pada kondisi ini kapal hanya mengandalkan system propulsi (rudder) sebagai gaya dorong utama. Berikut ini adalah simulasi manuever kapal dengan mengandalkan gaya dorong dari rudder.



**Gambar 4.10.** Gaya Dorong Rudder

Pada gambar diatas bisa dilihat bahwa hanya ada 1 gaya dorong yang bekerja pada kapal dari system propulsi (rudder). Pada saat rudder dibelokkan sebesar  $15^{\circ}$  maka resultan gaya dorong rudder (lift) adalah sebesar  $P \cos \alpha$ . Momen (torsi) putar didapatkan dari perkalian antara  $P \cos \alpha$  dengan  $X1$  (jarak antara center gravity kapal atau titik G dengan rudder).

## a) Gaya Dorong Pada Rudder

$$\begin{aligned}
 F_R &= 21 \times A_R V^2 \delta_R \\
 &= 21 \times 3.22 \times 4^2 \times 15 \\
 &= 4315.63 \quad \text{N}
 \end{aligned}$$

Keterangan:

- $F_R$  adalah gaya dorong pada rudder dalam Newton.
- $A_R$  adalah luas area dari rudder dalam  $\text{m}^2$ .
- $V$  adalah kecepatan kapal pada saat maneuver yang diasumsikan sebagai kecepatan aliran fluida pada rudder dalam knot.
- $\delta_R$  adalah sudut dari rudder pada saat maneuver (rudder angle).

## b) Perhitungan Maximum Static Trim

Trim disini adalah kemiringan maksimum kapal pada saat maneuver.

$$\begin{aligned}
 B' &= (7.7 + 20(1 - C_b)^2) \times b \\
 &= (7.7 + 20(1 - 0.6)^2) \times 14 \\
 &= 152.6 \quad \text{m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{b \times T}{B \times H} \\
 S &= \frac{14 \times 4}{152 \times 6.25} \\
 &= 0.058715596
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \delta_{\max} (\text{Trim}) &= \frac{C_b \times S^{0.81} \times V_k^{2.08}}{20} \\
 \delta_{\max} (\text{Trim}) &= \frac{0.60 \times 0.05^{0.81} \times 12^{2.08}}{20} \\
 &= 0.538856972 \quad \text{m}
 \end{aligned}$$



Keterangan:

- $C_b$  adalah Block Coefficient kapal
- $T$  adalah sarat kapal dalam meter
- $H$  adalah tinggi kapal dalam meter

c) Perhitungan Circle Turning Diameter

$$\frac{STD}{L} = 4.19 - 203 \frac{C_B}{\delta_R} + 47.4 \frac{Trim}{L} - \frac{13.0B}{L} + \frac{194}{\delta_R} - 35.8 \frac{Sp \cdot Ch}{L \cdot T} (ST - 1) +$$

$$+ 3.82 \frac{Sp \cdot Ch}{L \cdot T} (ST - 2) + 7.79 \frac{A_B}{L \cdot T} + 0.7 \left( \frac{T}{T_L} - 1 \right) \left( \frac{\delta_R}{|\delta_R|} \right) (ST - 1)$$

$$\frac{STD}{L} = 4.19 - 203 \frac{0.609}{15} + 47.4 \frac{0.53}{52.35} - 13 \frac{14}{52.35} + \frac{194}{15} -$$

$$35.8 \frac{2.23 \times 1.44}{52.35 \times 4} (2 - 1) + 3.82 \frac{2.23 \times 1.44}{52.35 \times 4} (2 - 2) +$$

$$7.79 \frac{5.92}{52.35 \times 4} + 0.7 \left( \frac{4}{4} - 1 \right) \left( \frac{15}{15} \right) (2 - 1)$$

$$\frac{STD}{L} = 4.85 \quad \text{m}$$

$$\frac{TD}{L} = 0.910 \frac{STD}{L} + 0.424 \frac{V_S}{\sqrt{L}} + 0.675$$

$$\frac{TD}{L} = (0.910 \times 4.85) + 0.424 \frac{12}{\sqrt{52.35}} + 0.675$$

$$\frac{TD}{L} = 5.79 \quad \text{m}$$

$$\frac{Ad}{L} = 0.519 \frac{TD}{L} + 1.33$$

$$\frac{Ad}{L} = (0.519 \times 5.79) + 1.33$$

$$\frac{Ad}{L} = 4.33 \quad \text{m}$$

$$\frac{Tr}{L} = 0.497 \frac{TD}{L} - 0.065$$

$$\frac{Tr}{L} = (0.497 \times 4.33) + 0.065$$

$$\frac{Tr}{L} = 2.81 \quad \text{m}$$

Keterangan:

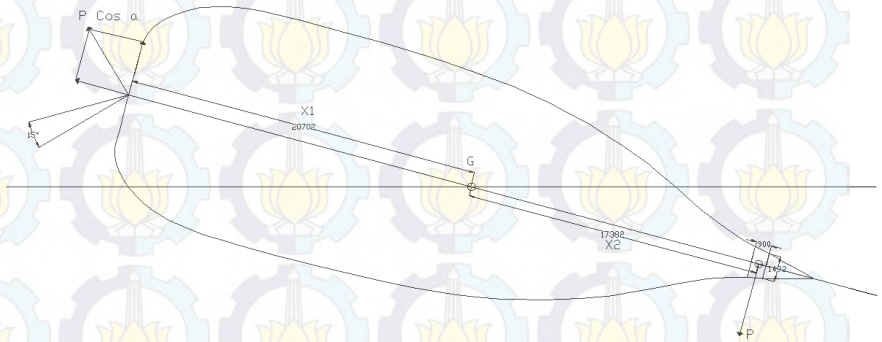
- STD adalah steady turning diameter, dalam m
- TD adalah tactical diameter, dalam m
- Ad adalah advance, dalam m
- Tr adalah transfer, dalam m
- Ch adalah Mean Chord of rudder dalam m
- SP adalah Span of rudder dalam m
- ST adalah Stern Type
- TL adalah Draft kapal saat maneuver (estimasi) dalam m
- AB adalah Submerged bow profile dalam m<sup>2</sup>

#### 4.5.2 Manuever Kapal Dengan Gaya Dorong Rudder & Bow Thruster

Pada kapal AHTS ini dipasang thruster pada sisi bow untuk menambah gaya dorong kapal pada saat maneuver sehingga pada kondisi ini ada 2 gaya dorong yang bekerja. Resultan dari kedua gaya ini akan menambah gaya dorong kapal pada saat maneuver.

Pada gambar dibawah ini bisa dilihat bahwa ada 2 gaya dorong yang bekerja pada kapal dari system propulsi (rudder) dan gaya dorong dari Bow Thruster. Pada saat rudder dibelokkan sebesar 15<sup>0</sup> maka resultan gaya dorong rudder (lift) adalah sebesar  $P \cos \alpha$ . Sedangkan gaya dorong dari Bow Thruster adalah sebesar dari hasil simulasi pada CFD. Momen (torsi) putar rudder didapatkan dari perkalian antara P

$\cos \alpha$  dengan X1 (jarak antara center gravity kapal atau titik G dengan rudder). Sedangkan momen (torsi) putar bow thruster didapatkan dari perkalian antara P dengan X2 (jarak antara center gravity kapal atau titik G dengan bow thruster).



**Gambar 4.11.** Resultan Gaya Dorong Pada Kapal

Berikut ini adalah contoh perhitungan circle turning diameter pada selubung 1 (1490 mm).

a) Gaya Dorong Pada Rudder

$$\begin{aligned} F_R &= 21 \times A_R V^2 \delta_R \\ &= 21 \times 3.22 \times 4^2 \times 15 \\ &= 4315.63 \quad \text{N} \end{aligned}$$

Keterangan:

- $F_R$  adalah gaya dorong pada rudder dalam Newton.
- $A_R$  adalah luas area dari rudder dalam  $\text{m}^2$ .
- $V$  adalah kecepatan kapal pada saat maneuver yang diasumsikan sebagai kecepatan aliran fluida pada rudder dalam knot.
- $\delta_R$  adalah sudut dari rudder pada saat maneuver (rudder angle).



b) Force on Bow Thruster

Gaya dorong pada bow thruster ini didapatkan dari hasil simulasi pada CFD.

$$\begin{aligned} \text{FB} &= \text{Force on Back} + \text{Force on Face} \\ &= 18167.2 + 23074.6 \\ &= 41241.8 \quad \text{N} \end{aligned}$$

c) Perhitungan Resultan Torque Rudder & Bow Thruster

Resultan momen putar (torsi) pada kapal saat manuever adalah searah jarum jam sehingga total torsi adalah penjumlahan dari kedua gaya dorong tersebut.

$$\begin{aligned} \Sigma \text{Torque} &= (\text{FR} \cos \alpha \cdot X1) + (\text{FB} \cdot X2) \\ &= (\cos 15 (4.316) \times 2.07) + (41241.8 \\ &\quad \times 17.38) \\ &= 53398.04 \quad \text{Nm} \end{aligned}$$

d) Total Gaya Dorong Pada Rudder Yang Baru

Pada Tugas Akhir ini total resultan momen putar (torque) pada kapal akan digunakan untuk menghitung gaya dorong dari rudder yang baru. Jadi pada kondisi ini seolah-olah kapal pada saat manuever hanya menggunakan gaya dorong dari rudder yang baru. Dimana rudder yang baru ini merupakan resultan gaya dorong dari rudder dan bow thruster.

$$\begin{aligned} \Sigma \text{FR} &= \frac{\Sigma \text{torque}}{X1} \\ &= \frac{53398.04}{20.7} \\ &= 25796.15 \quad \text{N} \end{aligned}$$

$\Sigma \text{FR}$  adalah resultan gaya dorong rudder & bow thruster dimana arah gaya dorong tersebut terjadi pada saat kapal

dibelokkan sebesar  $15^\circ$ . Sedangkan untuk mencari nilai gaya dorong dari rudder seolah-olah kapal bergerak lurus adalah  $\Sigma FR \cdot \cos \alpha$ .

$$\begin{aligned} F_{R1} &= \Sigma FR \cdot \cos \alpha \\ &= \cos 15 (25796.15) \\ &= 28796.5 \quad \text{N} \end{aligned}$$

Dengan nilai gaya dorong yang lebih besar pada rudder maka berdasarkan rumus  $F_R = 21 \times A_R V^2 \delta_R$  maka akan didapatkan luas area ( $A_R$ ) yang lebih besar daripada rudder yang lama. Rudder yang baru ini (dengan luas area yang lebih besar) hanya digunakan pada saat menghitung circle turning diameter karena parameter nilai yang dibutuhkan adalah span & mean chord rudder bukan untuk dipasang atau diinstal pada kapal.

$$\begin{aligned} F_{R1} &= 21 \times A_R V^2 \delta_R \\ A_R &= \frac{F_{R1}}{21 \times V^2 \delta_R} \\ &= \frac{28796.5}{(21 \times 4^2 \times 15)} \\ &= 21.52 \quad \text{m}^2 \end{aligned}$$

Dari luas area di atas maka bisa ditentukan nilai span & mean of chord yang akan digunakan dalam perhitungan circle turning diameter. Untuk mengetahui hubungan perubahan luas area rudder dengan dimensi rudder maka nilai span dibuat statis sebesar 2.23 meter. Semakin besar resultan gaya dorong ( $\Sigma FR$ ) maka semakin besar luas area ( $A_R$ ) rudder dan semakin besar juga nilai mean chord.

Berikut ini adalah data perhitungan perbandingan selubung I sampai selubung V.



**Tabel 4.6.** Perbandingan Nilai Span & Mean Chord Rudder

	Force (N)	$\Sigma$ torque (Nm)	AR (m <sup>2</sup> )	Span (meter)	Mean Chord (meter)
	Bow Thruster				
Selubung I	41241.8	784648	21.526	2.230	9.635
Selubung II	43630.5	826163	22.665	2.230	10.145
Selubung III	46809.1	881407	24.180	2.230	10.823
Selubung IV	50670.7	948522	26.022	2.230	11.648
Selubung V	53565.4	998832	27.402	2.230	12.265

e) Perhitungan Maximum Static Trim

Trim disini adalah kemiringan maksimum kapal pada saat maneuver.

$$\begin{aligned}
 B' &= (7.7 + 20(1-Cb)^2) \times b \\
 &= (7.7 + 20(1-0.6)^2) \times 14 \\
 &= 152.6 \quad \text{m}
 \end{aligned}$$

$$S = \frac{b \times T}{B \times H}$$

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{14 \times 4}{152 \times 6.25} \\
 &= 0.058715596
 \end{aligned}$$

$$\delta_{\max} (\text{Trim}) = \frac{Cb \times S^{0.81} \times V_k^{2.08}}{20}$$

$$\begin{aligned}
 \delta_{\max} (\text{Trim}) &= \frac{0.60 \times 0.05^{0.81} \times 12^{2.08}}{20} \\
 &= 0.538856972 \quad \text{m}
 \end{aligned}$$

Keterangan:

- $C_b$  adalah Block Coefficient kapal
- $T$  adalah sarat kapal dalam meter
- $H$  adalah tinggi kapal dalam meter

f) Perhitungan Circle Turning Diameter

$$\frac{STD}{L} = 4.19 - 203 \frac{C_B}{\delta_R} + 47.4 \frac{Trim}{L} - \frac{13.0B}{L} + \frac{194}{\delta_R} - 35.8 \frac{Sp \cdot Ch}{L \cdot T} (ST - 1) +$$

$$+ 3.82 \frac{Sp \cdot Ch}{L \cdot T} (ST - 2) + 7.79 \frac{A_B}{L \cdot T} + 0.7 \left( \frac{T}{T_L} - 1 \right) \left( \frac{\delta_R}{|\delta_R|} \right) (ST - 1)$$

$$\frac{STD}{L} = 4.19 - 203 \frac{0.609}{15} + 47.4 \frac{0.53}{52.35} - 13 \frac{14}{52.35} + \frac{194}{15} -$$

$$35.8 \frac{2.23 \times 9.63}{52.35 \times 4} (2 - 1) + 3.82 \frac{2.23 \times 9.63}{52.35 \times 4} (2 - 2) +$$

$$7.79 \frac{5.92}{52.35 \times 4} + 0.7 \left( \frac{4}{4} - 1 \right) \left( \frac{15}{15} \right) (2 - 1)$$

$$\frac{STD}{L} = 1.72 \quad \text{m}$$

$$\frac{TD}{L} = 0.910 \frac{STD}{L} + 0.424 \frac{V_s}{\sqrt{L}} + 0.675$$

$$\frac{TD}{L} = (0.910 \times 1.72) + 0.424 \frac{12}{\sqrt{52.35}} + 0.675$$

$$\frac{TD}{L} = 2.94 \quad \text{m}$$

$$\frac{Ad}{L} = 0.519 \frac{TD}{L} + 1.33$$

$$\frac{Ad}{L} = (0.519 \times 2.94) + 1.33$$

$$\frac{Ad}{L} = 2.85 \quad \text{m}$$

$$\frac{Tr}{L} = 0.497 \frac{TD}{L} - 0.065$$

$$\frac{Tr}{L} = (0.497 \times 2.85) - 0.065$$

$$\frac{Tr}{L} = 1.398 \quad \text{m}$$

Keterangan:

- STD adalah steady turning diameter, dalam m
- TD adalah tactical diameter, dalam m
- Ad adalah advance, dalam m
- Tr adalah transfer, dalam m
- Ch adalah Mean Chord of rudder dalam m
- SP adalah Span of rudder dalam m
- ST adalah Stern Type
- TL adalah Draft kapal saat maneuver (estimasi) dalam m
- AB adalah Submerged bow profile dalam m<sup>2</sup>

Dengan cara dan perhitungan yang sama dicari nilai-nilai tersebut pada selubung II, selubung III, selubung IV dan selubung V. Resume output data perhitungan tersebut bisa dilihat pada table dibawah ini.



**Tabel 4.7.** Resume Output Perhitungan Circle Turning Diameter

	Force (N)		$\Sigma$ Torque (Nm)	STD/L	TD (meter)	Ad (meter)	Tr (meter)
	Rudder	Bow Thruster					
Selubung I	4315.63	41241.8	784648	1.721	154.17	149.64	73.22
Selubung II	4315.63	43630.5	826163	1.527	144.89	144.82	68.61
Selubung III	4315.63	46809.1	881407	1.267	132.55	138.41	62.47
Selubung IV	4315.63	50670.7	948522	0.952	117.54	130.63	55.01
Selubung V	4315.63	53565.4	998832	0.716	106.30	124.79	49.42

Keterangan:

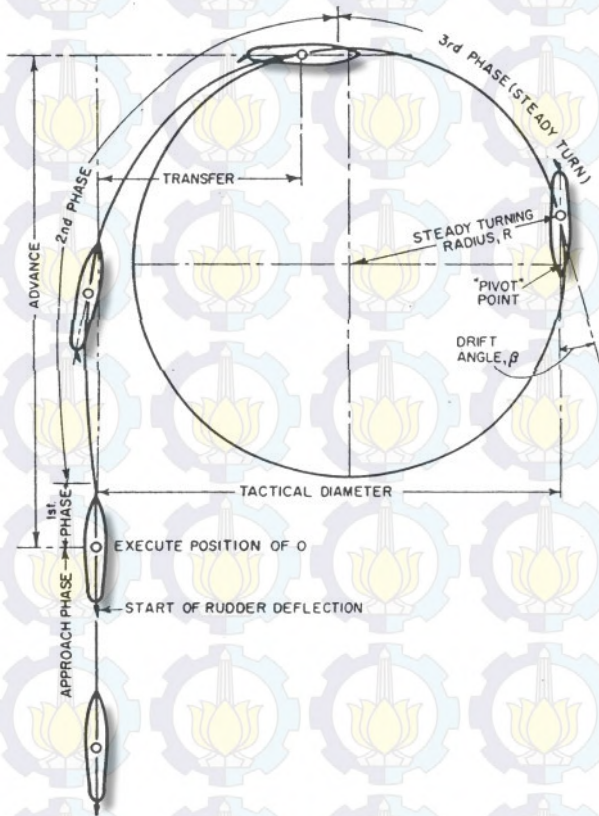
- 1) Force on Rudder adalah gaya angkat dari kemudi kapal yang dihasilkan pada saat kapal bergerak dengan kecepatan 2 knot pada proses maneuver.
- 2) Force on Bow Thruster adalah gaya dorong yang dihasilkan oleh bow thruster ke arah melintang kapal.

- 3)  $\Sigma$ Torque adalah torsi total (pada rudder & bow thruster) yang bekerja pada kapal pada saat proses maneuver.
- 4) STD/L adalah perbandingan antara steady turning diameter (kondisi kapal pada posisi yang konstan pada saat maneuver) dengan panjang kapal ( $L_{pp}$ ).
- 5) Tactical Diameter (TD) adalah jarak yang diperoleh ke kiri atau kanan saja asli setelah pergantian  $180^\circ$  selesai.
- 6) Advance (Ad) adalah jumlah jarak gerakan asli kapal sampai kapal dalam keadaan stabil (steady) pada gerakan baru. Advance diukur dari titik dimana rudder pertama kali akan dibelokkan.
- 7) Transfer (Tr) adalah jumlah jarak yang diperoleh terhadap olah gerak baru (ditampilkan di sini untuk  $90^\circ$  menuju perubahan).



### 4.5.3 Manuever Kapal (Turning Basic of Ship)

#### a) Dasar Maneuver Kapal (Turning Basic of Ship)



Gambar 4.12. Dasar Maneuver Kapal

Keterangan Gambar:

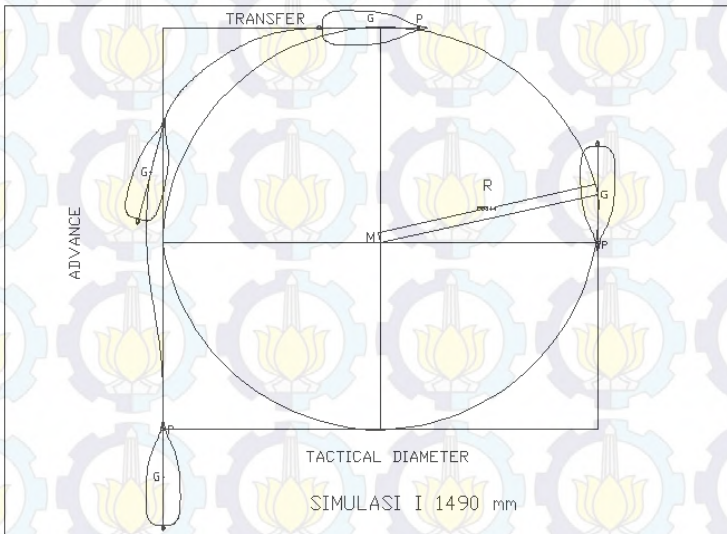
1. Turning Circle - A ship's turning circle adalah jalur yang diikuti oleh pivot point kapal saat melakukan 360 derajat.
2. Advance - Advance adalah jumlah jarak gerakan asli kapal sampai kapal dalam keadaan stabil (steady) pada gerakan baru. Advance diukur dari titik dimana rudder pertama kali akan dibelokkan.
3. Transfer - Transfer adalah jumlah jarak yang diperoleh terhadap olah gerak baru (ditampilkan di sini untuk  $90^\circ$  menuju perubahan).
4. Tactical Diameter - Tactical diameter adalah jarak yang diperoleh ke kiri atau kanan saja asli setelah pergantian  $180^\circ$  selesai.
5. Final Diameter - Final diameter adalah jarak tegak lurus terhadap olah gerak asli diukur dari  $180^\circ$  titik melalui  $360^\circ$  (yang ditampilkan di sini untuk radius balik stabil, R).
6. Pivot Point - A ship's pivot point adalah titik pada garis tengah sekitar mana kapal ternyata ketika kemudi diletakkan.
7. Drift Angle - Drift angle adalah sudut pada setiap titik pada lingkaran balik antara persimpangan tangen pada saat itu dan garis lunas kapal.

b) Turning Circle of Ship

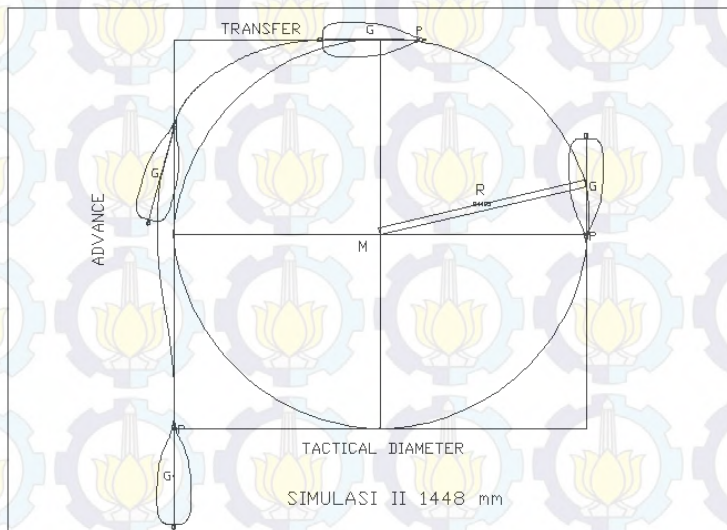
1. Kapal pada posisi olah gerak lurus dimana rudder belum dibelokkan.
2. Pada saat rudder akan dibelokkan 15 derajat kapal masih dalam gerakan lurus. Lalu pada titik P ditarik garis ke sumbu X sejauh Tactical Diameter (TD) & ke arah verikal sejauh Advance (Ad). Dari titik akhir Advance (Ad) ditarik garis lurus ke arah sumbu X sejauh Transfer (Tr).
3. Titik akhir pada garis Transfer (Tr) merupakan titik pusat kapal (G) setelah kapal melakukan proses maneuver.
4. Dari titik akhir Tactical Diameter (TD) ditarik garis lurus ke arah vertical. Dari keempat garis yang membentuk segi empat tarik titik tengah atau titik pusat (M).
5. Dari titik pusat (M) tarik garis ke arah sumbu X sejauh  $\frac{1}{2}$  dari TD. Titik ini merupakan heading dari titik P kapal. Sehingga seolah-olah posisi kapal berada tegak lurus.
6. Lalu tarik garis dari titik pusat (M) ke titik pusat kapal (G). hubungkan kedua titik tersebut sehingga membentuk garis. Garis inilah jarak atau radius (R) kapal pada kondisi Steady Turning.

Dibawah ini adalah gambar hasil circle turning diameter dari tiap hasil resultan gaya dorong rudder dan bow thruster pada selubung I, selubung II, selubung III, selubung IV, selubung V. Dimana radius ( R ) yang dihasilkan semakin kecil akibat gaya dorong yang lebih besar.

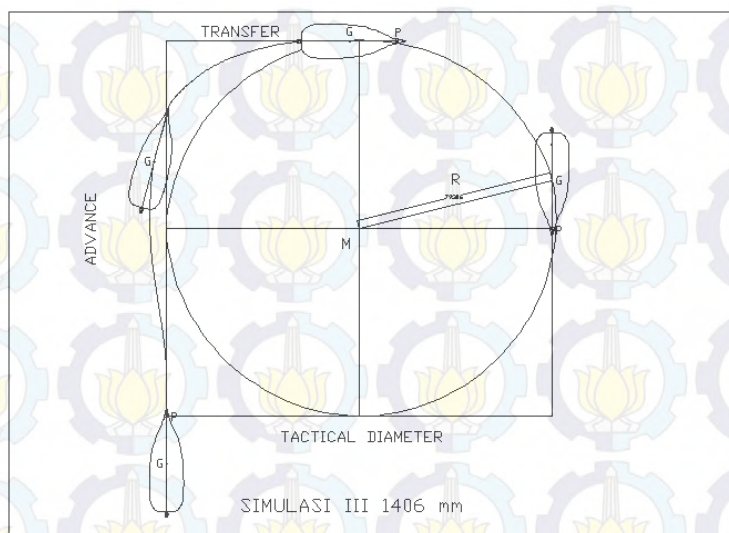




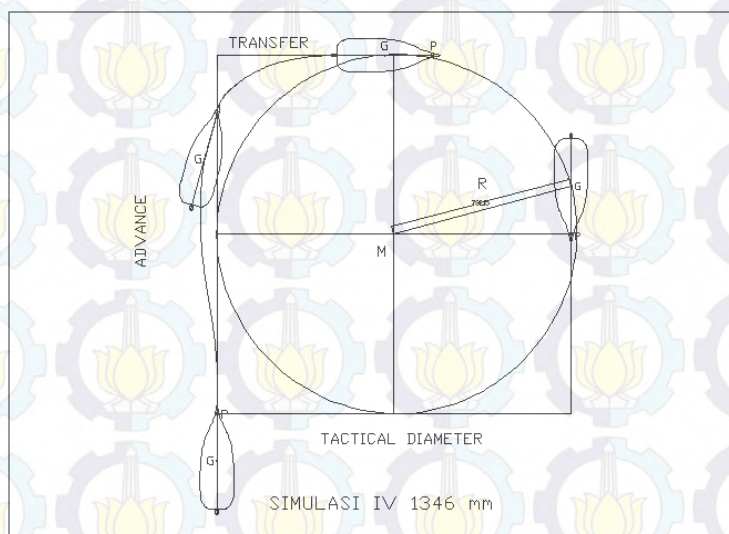
**Gambar 4.13. Circle Diameter Simulasi I**



**Gambar 4.14. Circle Diameter Simulasi II**

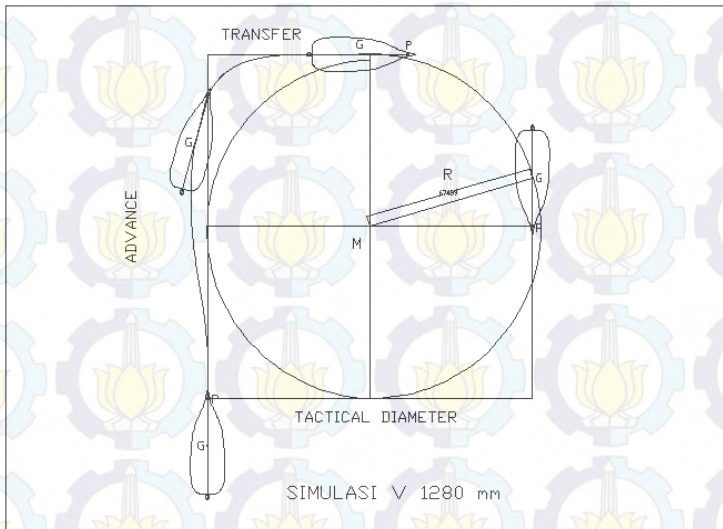


**Gambar 4.15.** Circle Diameter Simulasi III



**Gambar 4.16.** Circle Diameter Simulasi IV





**Gambar 4.17.** Circle Diameter Simulasi V

Tabel dibawah ini menunjukkan radius kapal pada saat melakukan turning circle diameter. Radius yang ditempuh oleh kapal seiring dengan bertambahnya gaya dorong kapal akibat perubahan panjang selubung (tunnel) bow thruster.

**Tabel 4.7.** Resume Output Perhitungan Circle Turning Diameter

	Selubung I	Selubung II	Selubung III	Selubung IV	Selubung V
Radius (R) (meter)	79.417	74.914	68.962	61.782	56463



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

- a. Dari hasil simulasi didapatkan bahwa gaya dorong yang dihasilkan bow thruster berbanding terbalik dengan panjang selubung (tunnel). Semakin pendek panjang selubung (tunnel) maka gaya dorong yang dihasilkan akan semakin besar. Berikut ini adalah nilai gaya dorong Bow Thruster pada selubung I (1490 mm), selubung II (1448 mm), selubung III (1406 mm), selubung IV (1346 mm) & selubung V (1280 mm); 41242 N, 43631 N, 46809 N, 50671 N & 53565 N.
- b. Dengan adanya pemasangan Bow Thruster pada sisi bow kapal dengan kecepatan propulsi yang sama (4 knots), gaya dorong yang dihasilkan pada saat proses maneuver kapal menjadi semakin besar seiring dengan perubahan panjang selubung (tunnel) akibat perubahan letak posisi pemasangan bow thruster. Berikut ini adalah nilai gaya dorong kapal pada selubung I (1490 mm), selubung II (1448 mm), selubung III (1406 mm), selubung IV (1346 mm) & selubung V (1280 mm); 25796.15 N, 27100.36 N, 28835.85 N, 30944.24 N & 32524.72 N.
- c. Perubahan panjang selubung (tunnel) menyebabkan nilai perbandingan antara steady turning diameter (kondisi kapal pada posisi yang konstan pada saat maneuver) dengan panjang kapal (Lpp) atau STD/L menjadi semakin lebih kecil. Hal ini menunjukkan bahwa radius steady turning pada saat proses

maneuver kapal menjadi lebih kecil. Semakin kecil nilai STD/L mengindikasikan bahwa akselerasi kapal pada saat melakukan proses maneuver semakin besar. Hal ini mengakibatkan radius yang ditempuh pada saat proses maneuver menjadi semakin lebih kecil dengan adanya perubahan panjang selubung (tunnel). Hal ini ditunjukkan dengan perbandingan radius jarak tempuh (RTD) circle turning diameter pada selubung I (1490 mm), selubung II (1448 mm), selubung III (1406 mm), selubung IV (1346 mm) & selubung V (1280 mm); 2.107, 1.942, 1.718, 1.453 & 1.204; 88344 meter, 84495 meter, 79306 meter, 73215 meter & 674999 meter.

## 5.2 Saran

- a. Harus dilakukan perhitungan stabilitas lebih lanjut pada pengaplikasian perubahan panjang selubung ini untuk mendapatkan gaya dorong yang lebih besar pada saat maneuver.
- b. Perlu dilakukan perhitungan yang detail dan lebih kompleks saat perencanaan konstruksi pada bagian bow kapal dengan adanya perubahan panjang selubung ini untuk mendapatkan gaya dorong yang lebih besar.
- c. Perlu dikaji ulang tentang bentuk pada ujung selubung (tunnel) untuk menghindari turbulensi aliran akibat gaya dorong yang besar karena adanya perubahan panjang selubung (tunnel).

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] (<http://www.itsnet.web.id/2013/06/04/menggairahkan-industri-perkapalan-nasional>)
- [2] [http://indonesia.go.id/kementerian/kementerian/ementerian - perindustrian/694-industri/12065-indonesia-kembangkan-industri-perkapalan](http://indonesia.go.id/kementerian/kementerian/ementerian-perindustrian/694-industri/12065-indonesia-kembangkan-industri-perkapalan)
- [3] <http://www.kemenperin.go.id/artikel/8919/Bincang-Maritim:-Pertumbuhan-Industri-Bangunan-Lepas-Pantai-Terus-Didorong>
- [4] <http://www.marineinsight.com/marine/marine-news/headline/features-applications-and-limitations-of-anchor-handling-tug-supply-vessels-ahts>
- [5] D A Taylor (1983). **Introduction to Marine Engineering**
- [6] Taylor (1972). **Principle of Naval Architecture Vol. II2**
- [7] [www.naval-lovers.com](http://www.naval-lovers.com) Bow Thruster Closer
- [8] John L. Beveridge (September 1971). **Design & Performance of Bow Thrusters**
- [9] Modul Pelatihan CFD
- [10] Ir. Soemartodjo. **Hand Out Materi Teknik Permesinan Kapal III (TPK III)**
- [11] Samuel Halpern (March 2007). **The Turning Characteristics of the SS Titanic**
- [12] Biro Klasifikasi Indonesi/BKI (2013). **Rules for Hull – Rudder & Manoeuvring Arrangement**
- [13] <http://www.maritimeworld.web.id/2011/10/maneuver-kapal.htm>l



[14] American Bureau Shipping/ABS (2006). **Guide for Vessel Maneuverability**

[15] <http://teori-bangunan kapal.blogspot.com/2014/02/stabilitas-dan-trim.html>

[16] Bryan Barrass, Capt D R Derrett (2011). **Ship Stability for Masters and Mates**

### **Biodata Penulis**



Penulis dilahirkan di Nganjuk, Jawa timur, pada tanggal 9 Januari 1987. Penulis merupakan anak kelima dari tujuh bersaudara. Terlahir dengan nama Basuki Rahmad dari pasangan Marimin dan Mujiati. Riwayat pendidikan formal yang telah ditempuh adala SDN Teken Glagahan II, SMPN 1 Nganjuk, SMAN 2 Nganjuk, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya ITS. Setelah lulus dari Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

pada tahun 2008, penulis melanjutkan pendidikan formalnya pada tahun 2012 lintas jalur ke strata ( S1). Diterima di jurusan Teknik Sistem Perkapalan – Fakultas Teknologi Kelautan – Institut Teknologi Sepuluh Nopember, dengan NRP 4212105010. Penulis mengambil konsntrasi bidang keahlian Marine Manufacturing and Design (MMD)..

Basuki Rahmad

Jurusan Teknik Sistem Perkapalan – FTK –ITS

Basuki\_its@yahoo.co.id